

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Experimentální ověření VBD pro dokončovací frézování

Experimental Verification of Inserts for Finish Milling

Student:

Bc. David Pokorný

Vedoucí diplomové práce:

prof. Dr. Ing. Josef Brychta

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. David Pokorný**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: Experimentální ověření VBD pro dokončovací frézování
Experimental Verification of Inserts for Finish Milling

Zásady pro vypracování:

1. Analýza stávajících řešení VBD a nabídka konkurence.
2. Teoretické zákonitosti při navrhování geometrie břitu VBD.
3. Konstrukční zpracování a technologie výroby prototypů.
4. Průběh, zpracování a vyhodnocení experimentálních zkoušek.
5. Technicko-ekonomické vyhodnocení navrhovaného řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] DUŠÁK, K. *Technologie montáže. Základy*. 1. vyd. Liberec : Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2005. 116 s. ISBN 80-7083-906-6.
- [4] HOFMANN, P. *Technologie montáže*. 1. vyd. Plzeň : Západočeská univerzita, 1997. 90 s. ISBN 80-7082-382-8.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Dr.Ing. Josef Brychta**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013

Ing.et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
vedoucí katedry

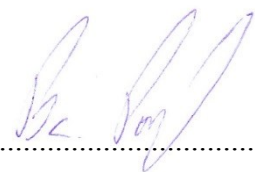


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20. 5. 2013

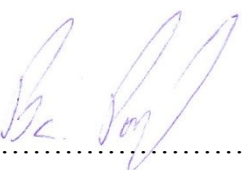

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB – TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB -TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 20.5.2013



podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. David Pokorný

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Palackého 8

789 01 Zábřeh

OBSAH

ÚVOD.....	8
1 SPOLEČNOST PRAMET TOOLS S.R.O.....	9
1.1 VÝVOJ SPOLEČNOSTI	9
1.2 VÝROBNÍ SORTIMENT NÁSTROJŮ	10
2 ANALÝZA STÁVAJÍCÍCH ŘEŠENÍ VBD A NABÍDKA KONKURENCE	11
2.1 STÁVAJÍCÍ ŘEŠENÍ VBD	12
2.1.1 Frézovací nástroje	12
2.1.2 Geometrie frézovacích destiček HNGX 09.....	14
2.2 DOKONČOVACÍ FRÉZOVÁNÍ	16
2.3 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ DRSNOST POVRCHU	17
2.4 KONKURENČNÍ SPOLEČNOSTI	18
2.4.1 Seco Tools s.r.o.	18
2.4.2 Walter tools	20
2.4.3 Kennametal tools.....	22
3 TEORETICKÉ ZÁKONITOSTI PŘI NAVRHOVÁNÍ GEOMETRIE BŘITU VBD.....	24
3.1 GEOMETRIE OBRÁBĚCÍCH NÁSTROJŮ	24
3.1.1 Souřadnicové soustavy	25
3.1.2 Břit nástroje	28
3.1.3 Volba geometrických parametrů břitu	29
3.2 GEOMETRIE BŘITU VBD	31
3.2.1 Hladící břit VBD	34
3.2.2 Konstrukční a pracovní úhly frézy	35
4 KONSTRUKČNÍ ZPRACOVÁNÍ A TECHNOLOGIE VÝROBY PROTOTYPŮ	37
4.1 TECHNOLOGIE VÝROBY	37
4.1.1 Příprava a výroba prášku	38
4.1.2 Lisování	41
4.1.3 Slinování	42
4.1.4 Úprava tvaru	43
4.1.5 Povlakování	44
5 PRŮBĚH, ZPRACOVÁNÍ A VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH ZKOUŠEK	46
5.1 TESTOVANÉ BŘITOVÉ DESTIČKY HNGX-F A HNGN	46
5.2 STROJ A ZAŘÍZENÍ.....	47
5.2.1 Volba obráběcího stroje	47
5.2.2 Měřicí zařízení	48
5.2.3 Těleso frézy pro upnutí VBD	49
5.2.4 Zařízení na měření drsnosti	50
5.3 OBRÁBĚNÝ MATERIÁL	51
5.4 PRŮBĚH ZKOUŠKY	52
5.4.1 Výpočet a postup nastavení hladící geometrie	54

5.4.2	Volba řezných parametrů zkoušky	55
5.5	VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH ZKOUŠEK	57
6	TECHNICKO-EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ NAVRHOVANÉHO ŘEŠENÍ	60
	ZÁVĚR	62
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	63
	SEZNAM OBRÁZKŮ	65
	SEZNAM PŘÍLOH.....	67

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

POKORNÝ, D. *Experimentální ověření VBD pro dokončovací frézování*: diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2013, 68s. Vedoucí práce: Brychta, J.

Diplomová práce se zabývá návrhem hladicí geometrie vyměnitelné břitové destičky pro dosažení kvalitního povrchu obráběného materiálu při frézování. V úvodu práce je seznámení se současným použitým řešením společnosti Pramet Tools, s.r.o. a porovnání s řešením konkurence. Dále práce popisuje geometrii řezných nástrojů a geometrii VBD, ale i technologii výroby těchto břitových destiček. Cílem je určit nastavení hladicí geometrie a provést experimentální ověření. Na základě naměřených hodnot je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

POKORNÝ, D. *Experimental Verification of Insert for Finish Milling*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2013, 68 p. Thesis head: Brychta, J.

This master thesis describes the design wiper geometry inserts for achieving good surface material to be machined by milling. In the introduction provides an familiarization current solution used of Pramet Tools, s.r.o. and compared with the solution of the competition. The thesis also describes the geometry of cutting tools and inserts the geometry, but also the technology of production of inserts. The aim is to determine the set wiper geometry and perform experimental verification. Based on the measured values is a technical-economic evaluation.

Seznam požitého značení

Značení	Význam	Jednotka
A_α	Hlavní hřbet nástroje	[-]
A'_α	Vedlejší hřbet nástroje	[-]
A_γ	Čelo bříty	[-]
A_5	Tažnost	[%]
CBN	Kubický nitrid boru	[-]
CNC	Počítačem řízené obráběcí centrum	[-]
CVD	Chemická metoda povlakování	[-]
ČSN	Česká státní norma	[-]
D	Průměr nástroje	[mm]
DIN	Německá státní norma	[-]
E	Modul pružnosti v tahu	[GPa]
G	Modul pružnosti ve smyku	[GPa]
HB	tvrdost podle Brinella	[-]
ISO	Mezinárodní norma	[-]
P_r	Nástrojová rovina základní	[-]
P_f	Nástrojová rovina boční	[-]
P_p	Nástrojová rovina zadní	[-]
P_s	Nástrojová rovina ostří	[-]
P_o	Nástrojová rovina ortogonální	[-]
P_n	Nástrojová rovinanormálová	[-]
P_{re}	Pracovní rovina základní	[-]
P_{fe}	Pracovní rovina boční	[-]
P_{pe}	Pracovní rovina zadní	[-]
P_{se}	Pracovní rovina ostří	[-]
P_{oe}	Pracovní rovina ortogonální	[-]
PVD	Fyzikální metoda povlakování	[-]
PCD	Polykrystalický diamant	[-]
R_a	Střední aritmetická odchylka profilu	[μm]
R_m	Mez pevnosti	[MPa]
$R_p^{0,2}$	Mez kluzu	[MPa]
S	Hlavní ostří	[-]

S'	Vedlejší ostří	[-]
SK	Slinutý karbid	[-]
VBD	Vyměnitelná břitová destička	[-]
Z	Životnost nástroje	[min]
a_e	Pracovní záběr	[mm]
a_p	Hloubka třísky	[mm]
b_s	Fasetka	[-]
e	Systematická složka chyby měření	[-]
h	Hloubka řezu	[mm]
h_m	Střední tloušťka třísky	[mm]
f_{ot}	Posuv na otačku	[mm/ot]
f_z	Posuv na zub	[mm/z]
n	Otáčky	[ot/mm]
t	Čas cyklu	[min]
v	Rychlost hlavního pohybu	[m.min ⁻¹]
v_c	Řezná rychlost	[m.min ⁻¹]
$\alpha (\alpha_0)$	Nástrojový úhel hřbetu	[°]
ε_r	Nástrojový úhel špičky	[°]
φ_0	Ortogonální úhel čela	[°]
η	Úhel řezného pohybu	[°]
χ_r	Úhel nastavení hlavního ostří	[°]
χ'_r	Úhel nastavení vedlejšího ostří	[°]
λ_s	Úhel sklonu hlavního ostří	[°]
$Y(Y_0)$	Nástrojový úhel čela	[°]

ÚVOD

Diplomová práce se zabývá návrhem hladicí geometrie vyměnitelné břitové destičky pro dosažení kvalitního povrchu obráběného materiálu při frézování.

Tato práce je zhotovena ve spolupráci s firmou Pramet Tools s.r.o. se sídlem v Šumperku, která se zabývá vývojem, výrobou a prodejem obráběcích nástrojů ze slinutého karbidu. Povlakované slinuté karbidy se staly rozhodujícím materiálem současnosti pro řezné nástroje ve formě vyměnitelných břitových destiček, které se používají pro jemné obrábění i pro těžké hrubování téměř všech druhů materiálů.

K udržení úspěchu podniku je nezbytné vytvářet strategie úprav a rozvoje. Cesta k podnikové úspěšnosti musí být proto vybavena jak znalostmi postupů a nástrojů strategického řízení, tak i schopnost tyto znalosti účinně aplikovat.

Při třískovém obrábění jsou důležitými faktory ovlivňující úspěch na trhu, především obrábět ekonomicky, produktivně, kvalitně a s nízkými náklady spojené s výrobou. Současné vývojové trendy jsou také zaměřeny na zvyšování jakosti, tvarové a rozměrové přesnosti obráběných materiálů. Z těchto trendů vyplývá, že se neustále zvyšují požadavky na nové řezné nástroje, od nichž je vedle vysoké provozní spolehlivosti požadována také maximální výkonnost.

Kvalita obrobeného povrchu dokončovaného obrobku a jeho geometrická přesnost jsou určujícím podílem ovlivněny konstrukcí nástroje, geometrií břitu a podmínkami obrábění.

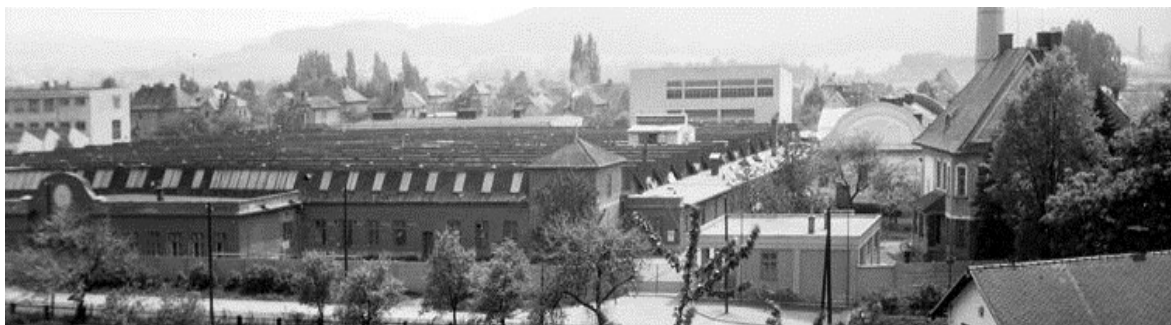
Na základě těchto faktorů a současných použitých řešení společnosti Pramet, ale i porovnáním s řešením konkurence je navrhována hladicí geometrie, která se výrazně podílí na kvalitě obrobeného povrchu. Konstrukce hladicí geometrie je kombinovaná s optimalizovaným utvařečem třísky zabezpečující její dokonalý odchod a vysokou stabilitu obrábění v celém rozsahu velikosti posuvů.

1 SPOLEČNOST PRAMET TOOLS S.R.O.

Pramet Tools je společnost zabývající se vývojem, výrobou a prodejem obráběcích nástrojů ze slinutého karbidu. Výrobní závod a zároveň centrála společnosti sídlí v České republice, a to ve městě Šumperk, kde je tato výroba slinutých karbidů více než šedesátiletou tradicí. Zde se nachází i všechna další oddělení, jako je oddělení výzkumu a vývoje, logistiky nebo marketingu.[1]

1.1 Vývoj společnosti

V roce 1951 byla v Šumperku zahájena výroba součástí ze slinutého karbidu a řezných nástrojů osazených tímto materiálem. Firma Pramet Tools si drží po celou dobu provozu významnou pozici ve svém oboru na tuzemském teritoriu a také získává výraznější uplatnění na náročných exportních trzích, to vše díky své tradici a zkušenostmi ve výrobě slinutých karbidu, ale i reprodukovatelné kvalitě materiálů a kontinuálního výzkumu i vývoje.



Obr. 1 Historické panorama - Pramet Tools [1]

Od roku 1999 začala nová éra společnosti Pramet Tools. Vzniklo propojení s finančně silným partnerem, čímž proběhla kompletní modernizace výroby vyměnitelných břitových destiček, rozšířily se významné a vývojové činnosti a proběhla optimalizace informačních systémů. Dále došlo k posílení oddělení logistiky a obchodně – technického servisu s poradenstvím zákazníkům. Během této doby se postupně rozšířila síť obchodních poboček. Pramet Tools působí na čtyřech kontinentech a prodává produkty do více než 50 zemí světa, např. Německo, Itálie, Brazílie, Indie a Rusko. Hlavním cílem Prametu je obsluhovat 1 % světového trhu, což znamená zařadit se mezi dvacet největších světových firem.[1]

1.2 Výrobní sortiment nástrojů

Pramet Tools nabízí produkty a služby v oblasti řezných a tvářecích nástrojů. Zaměřuje se na celkový pohled na jakost a pracuje na zlepšování procesů, s cílem uspokojit své zákazníky. Ve své široké nabídce zahrnuje nástroje pro oblasti vrtání, soustružení, frézování a tváření kovů.

- Vyměnitelné břitové destičky – pro frézování, soustružení, vrtání, vyvrtávání, speciální operace
- Nástroje pro soustružení – vnitřní a vnější, závitování, upichování a zapichování, kopírování, speciální nástroje
- Nástroje pro frézování – rovinné frézy, frézy do rohu, stopkové frézy, kopírovací frézy, válcové frézy, kotoučové frézy, speciální frézy, monolitní frézy
- Nástroje pro vrtání – vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami, monolitní vrtáky
- Upínací systémy pro rotační nástroje – DIN 69893, DIN 69871, DIN 2080

Společnost Pramet Tools od roku 2000 inovovala celý výrobní sortiment nástrojů pro třískové obrábění, a to zejména po stránce materiálové, ale i po stránce nových tvarů a geometrií těchto nástrojů. Dále pak byla provedena inovace i u materiálů pro tvářecí a lisovací nástroje ze slinutých karbidů. Nový sortiment tedy kompletně odpovídá požadavkům moderních technologických postupů.[1]



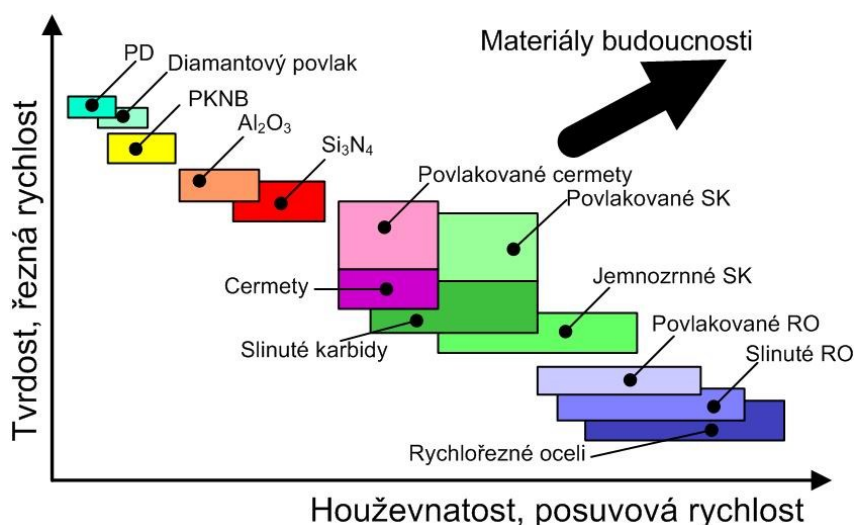
Obr. 2 Ukázka sortimentu nástrojů pro frézování [1]

2 ANALÝZA STÁVAJÍCÍCH ŘEŠENÍ VBD A NABÍDKA KONKURENCE

Na celém světě průmyslové podniky používají na výrobu strojních součástí různé materiály a metody obrábění, z nichž největší podíl tvoří soustružení, frézování a vrtání. K odebírání třísky a vytváření nových povrchů požadovaného tvaru, rozměrů a jakosti musí být k dispozici řezný nástroj, kdy jeho břit má odpovídající houževnatost a současně vysokou tvrdost v oblasti ostří, která nesmí příliš poklesnout i při vysokých teplotách.

Současné řezné nástroje pro strojní obrábění jsou vyráběny z různých materiálů, a to zejména od nástrojových ocelí, slinutých karbidů, cermetů, řezné keramiky až po supertvrdé materiály. Tato široká nabídka materiálů je důsledkem dlouhodobého a intenzivního výzkumu a vývoje dané oblasti, dále souvisí i s rozvojem konstrukčních materiálů, které je zapotřebí efektivně obrábět.

Aplikační oblasti materiálů pro řezné nástroje jsou vymezeny jejich fyzikálními, chemickými, tepelnými a mechanickými vlastnostmi. Nástrojové materiály s vysokou tvrdostí můžeme využít při vyšších řezných rychlostech a malých průřezích třísky a to u dokončovacího obrábění, kde převládá hlavně tepelné zatížení nad mechanickým. Materiály s vysokou houževnatostí lze použít při vyšších posuvových rychlostech, zejména u hrubovacího obrábění, kde v důsledku většího průřezu třísky převládá mechanické zatížení.[2]



Obr. 3 Vliv mechanických vlastností nástrojového materiálu na pracovní podmínky [2]

2.1 Stávající řešení VBD

Předmětem řešení diplomové práce je hladicí geometrie u vyměnitelných břitových destiček ze slinutých karbidů u dokončovacího frézování, kde se tato hladicí geometrie výrazně podílí na kvalitě povrchu obráběného materiálu. Břitové destičky jsou přesně ustavovány do lůžka frézy a připevňovány za pomoci jednoho šroubu. Stávajícím řešením nastavení úhlu hladicí geometrie na VBD v tělese frézy je 0° , kdy tímto ustavením se dosahuje drsnost povrchu až $1\text{ }\mu\text{m}$. Požadavkem firmy Pramet Tools je docílení nižší drsnosti povrchu oproti stávající, což znamená, že je zapotřebí vytvořit ideální nastavení úhlu této hladicí plochy.

Vyměnitelné břitové destičky ze slinutých karbidů mají v dnešní době dominantní podíl v moderní technologii. Požadavek vysoké produktivity a minimálních nákladů při obrábění na obráběcích strojích vyvolává vysoké nároky na úroveň nástrojů.

Slinuté karbidy disponují nejvyšším modulem pružnosti, ohybovou pevností a lomovou houževnatostí, a proto mohou být použity pro obrábění vysokými posuvovými rychlostmi a pro těžké přerušované řezy.[1]

2.1.1 Frézovací nástroje

Společnost Pramet Tools nabízí ve svém sortimentu frézování vysoce výkonné nástroje, které nám zajišťují výrazné snížení nákladů na obrábění. Jedním z nich jsou frézovací nástroje s úhlem nastavení 45° osazené destičkami HNGX nebo HNGN, které disponují 12 reznými břity.



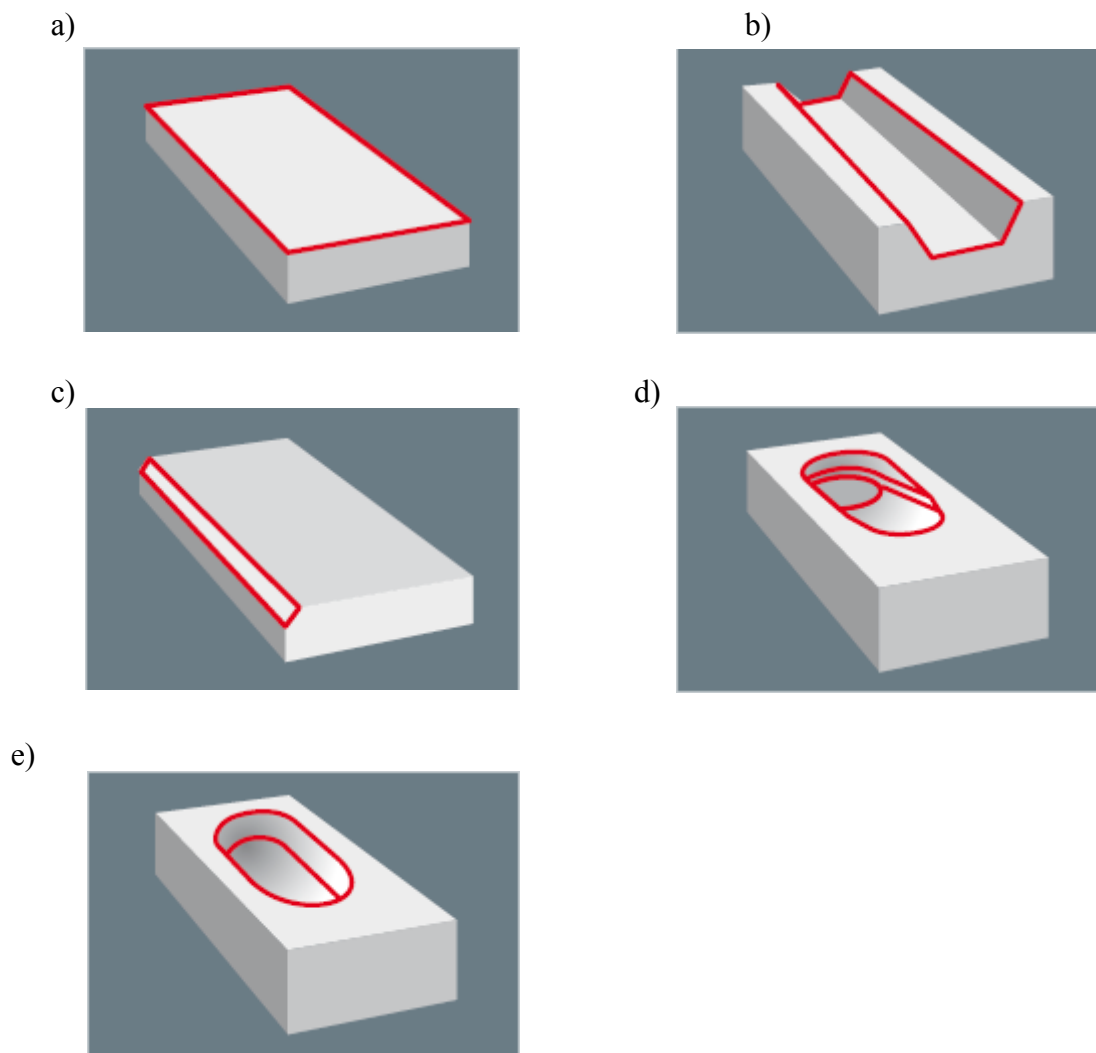
Obr. 4 VBD HNGX [3]

Tato řada frézovacích nástrojů je určena pro hrubovací až dokončovací operace při rovinném frézování. Břítové destičky HNGX mají 12 řezných hran, přičemž lze volit ze tří typů geometrií. Tyto řezné materiály jsou s PVD i CVD povlakem.



Obr. 5 Fréza S45HN09C osazená VBD [3]

Dále s těmito frézovacími nástroji lze kromě rovinného frézování provádět drážkování, srážení hran, zajíždět pod úhlem nebo i postupně zavrtávat. Základní řada rovinných fréz v rozsahu průměru 50 až 160 mm je doplněna frézami s vyšším počtem zubů určenými zejména pro frézování materiálů s drobnou třískou, která je typická pro litinu. Frézy jsou povrchově upraveny ke snížení abrazivního opotřebení, zvýšení odolnosti vůči korozi a také k nižšímu třecímu odporu. Použití těchto nástrojů lze dosáhnout velmi dobré kvality obrobeného povrchu. Univerzální provedení těchto VBD umožňuje jejich použití v nástrojích s levým nebo pravým směrem rotace. Těmito nástroji lze obrábět širokou škálu materiálů s maximální hloubkou řezu $a_p = 5 \text{ mm}$ a rozsah posuvů je $f_z = 0,1 \text{ až } 0,5 \text{ mm.zub}^{-1}$. [3]



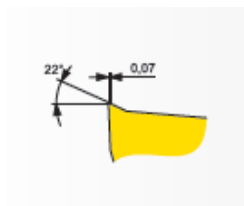
Obr. 6 Možnosti obrábění – a) rovinné frézování, b) drážkování, c) srážení hran, d) zajiždění pod úhlem, e) postupné zavrtávání [3]

2.1.2 Geometrie frézovacích destiček HNGX 09

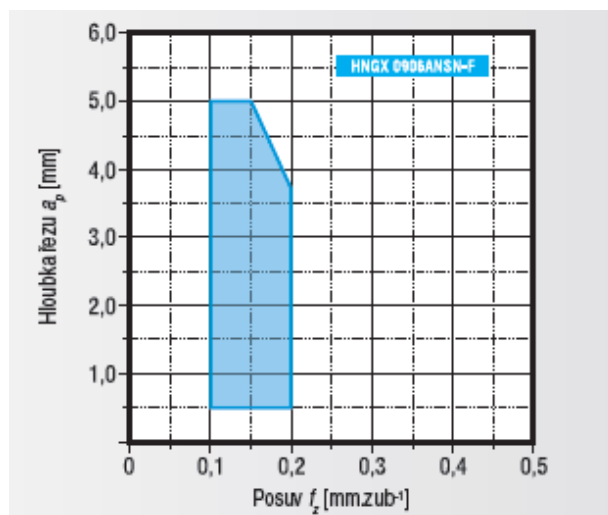
Frézovací destičky jsou vyráběny ve třech typech geometrie s označením F, M, R. Geometrie F – je vysoce pozitivní geometrie s úzkou obvodovou fazetkou. Je vhodná pro obrábění materiálů skupin P, M, dále pak jen podmíněně pro materiály skupin K, N a S. Její využití je zejména vhodné pro lehké a střední obrábění. Rozsah řezných podmínek je $f_z = 0,1$ až $0,2 \text{ mm.zub}^{-1}$ a $a_p = 0,5$ až $5,0 \text{ mm}$.



Obr. 7 HNGX-F [3]



Obr. 8 Profil hlavního břitu [3]



Obr. 9 Funkční diagram [3]

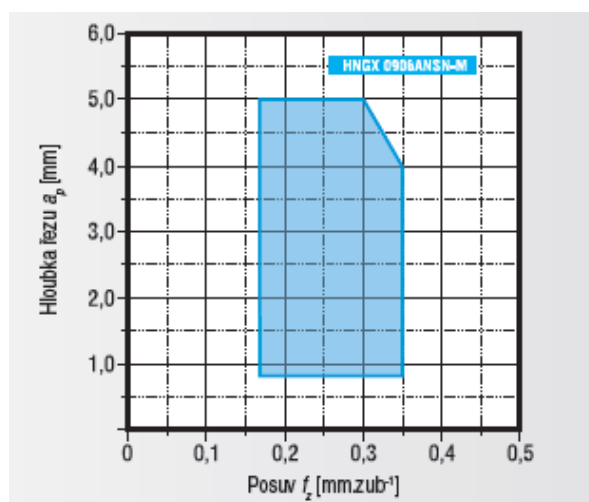
Geometrie M – je vysoce pozitivní geometrie se střední obvodovou fazetkou, která je vhodná pro obrábění materiálů skupin P, M, K a podmíněně pak pro materiály skupin N a S. Destička s touto geometrií je nejvíce vhodná pro střední obrábění. Zde je rozsah řezných podmínek následující $f_z = 0,17$ až $0,35$ mm.zub⁻¹ a $a_p = 0,8$ až $5,0$ mm.



Obr. 8 HNGX-M [3]



Obr. 9 Profil hlavního břitu [3]

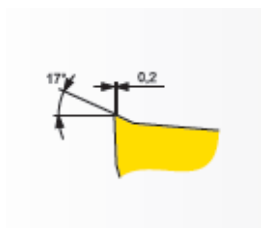


Obr. 10 Funkční diagram [3]

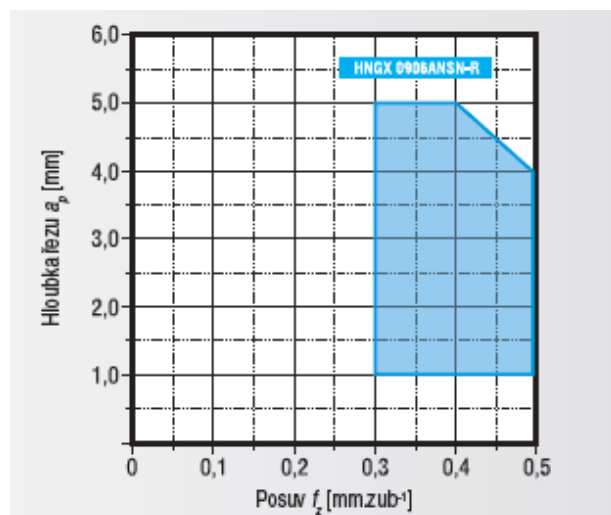
Geometrie R – je pozitivní geometrie se střední obvodovou fazetkou a je vhodná pro obrábění materiálů skupin P a K, dále pro materiály skupin M, S a H. Vyznačuje se pro použití středních až těžkých záběrových podmínek. U této geometrie je rozsah řezných podmínek $f_z = 0,3$ až $0,5$ mm.zub⁻¹ a $a_p = 1,0$ až $5,0$ mm.[3]



Obr. 11 HNGX-R [3]



Obr. 12 Profil hlavního břitu [3]



Obr. 13 Funkční diagram [3]

2.2 Dokončovací frézování

Touto metodou frézování můžeme dosáhnout vysoké kvality obráběného povrchu, a to až 0,4 až 1,6 μm a třídy přesnosti IT 7 až IT 8. U této dokončovací metody musejí mít stroje dostatečnou tuhost, aby nevznikalo chvění, která má za následek zhoršení kvality povrchu. Dalším faktorem na kvalitu povrchu při dokončovacím frézování je geometrie nástroje, vlastnost a kvalita obráběného materiálu, řezného materiálu a podmínky, při kterých budeme obrábět.

Charakterem frézování je, že každý zub frézy odebírá jen část materiálu ve formě třísek po určité dráze a poté jede na prázdko. Z toho nám vychází, že podmínky ochlazení jsou lepší než u jiných řezných nástrojů a ostatních metodách třískového obrábění. U neželezných kovů a litin se při frézování chladicí kapaliny nepoužívají, ale u ostatních materiálů je zapotřebí chladicí a mazací kapaliny ve formě emulze použít. Pro dokončování děr se chlazení také moc nepoužívá.

Doporučené řezné podmínky pro dokončovací frézování jsou vysoká řezná rychlost, malé posuvy a malé hloubky třísek. Hodnoty řezné rychlosti jsou 120 až 240 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$, hloubka třísky je 0,03 až 0,1 mm a posuv 1,5 až 2,5 mm. [4]

2.3 Faktory ovlivňující drsnost povrchu

Důležitým činitelem především pro dynamicky namáhané součásti, které se začínají porušovat od povrchu, je jejich drsnost. Větší drsnost působí škodlivě na únavovou pevnost součástí, případně i na jejich odolnost proti otěru. Obrobená plocha se řídí jistým stupněm drsnosti, který je určen mikronerovnostmi vzniklými při obrábění.

Faktory ovlivňující drsnost povrchu:

- fyzikální a mechanické vlastnosti obrobeného materiálu
- jakost povrchu
- tvar a geometrie břitu
- řezné podmínky
- velikost posuvu
- řezná rychlost

Dalšími faktory mohou být zejména tuhost soustavy stroj-nástroj- obrobek, způsob upínání obrobku, řezná kapalina, tření třísky a nástroje, obrobený povrch a v neposlední řadě i opotřebení nástroje.

Pro získání minimální drsnosti obrobeného povrchu má většina břitových destiček pro frézování hladicí břit, jako část vedlejšího břitu o určité šířce a úhlu nastavení $\chi_r=0^\circ$.

Nicméně hladicí břit nemusí být sám o sobě zárukou dosažení nízké drsnosti obrobeného povrchu. Při frézování tvoří obrobenou plochu více břitů, a proto její mikrogeometrie závisí na axiální házivosti jednotlivých břitů frézy. Obrobený povrchy vytváří nejvíce axiálně vysunuté břity. V případě, že je posuv na otáčku f_{ot} menší než šířka hladicího břitu a uplatňuje se při vytváření mikrogeometrie obrobeného povrchu hladicí břit nejvíce axiálně vysunuté břitové destičky a jakost obrobeného povrchu je dobrá.

Dále k získání nízkých hodnot drsnosti je proto zapotřebí pro dokončovací frézování s určeným požadavkem na drsnost snížit posuv pod hranici $f_{ot} \leq 0,8 \cdot a$ (kde a je šířka hladicího břitu). U větších fréz je dodržení této podmínky v některých případech problematické, protože maximální hodnota posuvu $f_z = 0,8 \cdot a / z$ se blíží dolní hranici rozmezí doporučeného pro určitý typ geometrie VBD. Pod touto hranicí se přestávají projevovat výhody některých speciálních geometrií VBD.[3] [5]

2.4 Konkurenční společnosti

Ekonomická krize v posledních letech ovládla svět. Banky, podniky, národní hospodářství jsou vystavena velkým tlakům ze strany ekonomického prostředí. Zpomaluje se dynamika ekonomiky, trhy stagnují, měna se stává nestabilní a dlouhodobé plánování zažívá vysokou nepřesnost. Aby se společnosti vyhnuly těmto důsledkům současně ekonomické krize, musí být stále konkurenceschopni.

Výhodu oproti konkurenční společnosti získává podnik tehdy, vykonává-li určité specifické charakteristiky, kterých si zákazník všímá a které ovlivňují jeho nákupní rozhodnutí. Podnik musí stále tvořit své silné stránky především inovací, zaváděním nových strojů a technologií. To vede k novým směrům řízení, k velmi široké počítačové podpoře výrobního systému a výrobního managementu a ostatních systémů.

Firma Pramet Tools investuje mnoho miliónů korun ročně do vývoje výrobků a ve spolupráci se šumperskou firmou SHM vyvíjí i nové materiály, respektive povlaky. Další investice jsou směřovány do technologií, které umožňují tyto moderní nástroje vyrábět. Pramet uvádí ročně na trh cca 15 % nových výrobků, což dokazuje, že je zde kladen důraz na vývoj novinek. To dává firmě perspektivu do další let a umožní ji setrvat na vrcholu mezi konkurencí.[3]

2.4.1 Seco Tools s.r.o.

Seco Tools je společnost zabývající se prodejem nástrojů pro obrábění kovů. Mezi svou nabídku zahrnuje nástroje s břitovými destičkami ze slinutých karbidů, CBN a PCD pro soustružení, frézování, vrtání, závitování, upichování, vystružování a vyvrtávání. Dále se zabývá výrobou monolitních fréz a vrtáku, ale i upínacích systému.

Hlavní ústředí společnosti se nachází ve Fagerstě ve Švédsku a je zastoupena asi v 50 zemích a má přes 40 zahraničních dceřiných společností v plném vlastnictví. Také spolupracuje s velkým počtem zprostředkovatelů a distributorů po celém světě. Výroba je založena především ve Švédsku, České republice, Francii a Indii. Cílem Seco Tools je vyvíjet, vyrábět a uvádět na trh produkty pro obrábění kovů, které splňují požadavky zákazníka na jejich kvalitu, údržbu a opravy i cenovou dostupnost.[6]

SECO



Obr. 14 Ukázka sortimentu výrobků společnosti Seco Tools [6]

Konkurenční produkt břitové destičky HGNX se řadí destička od firmy Seco Tools s názvem OMNU 050505 TN. Poskytují nám 16 využitelných řezných hran při dodržení doporučené hloubky záběru 3,5 mm. Mohou být upnuté do frézovacích těles s označením SOE45 v rozsahu průměru 35 – 50 mm a SOF45 v průměrech 50 – 210 mm. Tyto nástroje jsou určeny především pro rychlý úběr materiálu a také pro aplikace rovinného frézování, sražení hran a úkosů. Pro zvýšení kvality povrchu lze mezi tyto destičky zařadit jednu hladicí, která se umístí libovolně v osazení nástroje.[7]

Velikost	Rozměry v mm		
	d	l	s
ON..05 ZZ	12	12	4
ON..05	12	12	4

Obr. 15 Technický popis OMNU [7]



Obr. 16 Břitová destička OMNU 050505 TN [7]



Obr. 17 Frézovací těleso SOF 45 [7]

2.4.2 Walter tools


Firma Walter se sídlem v Tübingen-Německo se řadí mezi přední světové výrobce nástrojů s vyměnitelnou břitovou destičkou ze slinutého karbidu pro frézování, vrtání, soustružení, řezání závitů a vystružování otvorů více než 80 let.



Obr. 18 Sídlo firmy Walter v Tübingen – Německo [8]

Firma se řídí jasně stanovenými důležitými cíli, díky nimž se stává jedním z lídrů na trhu. Prvním z cílů je stále inovovat sortiment výrobků, a proto v současné době je téměř 70 % nástrojů mladších 5 let. Toto zaručuje zákazníkovi možnost neustále obrábět s nejmodernějšími nástroji a technologiemi a tím se stává neustále konkurenceschopným. Dalším aspektem firmy Walter je předložení dostatečných informací zákazníkům, a to z toho důvodů, že dobře proškolený tým odborníků může maximálně využít vlastností moderních nástrojů, proto běžnou součástí práce se staly odborné semináře a prezentace, které se konají v sídle firmy Walter, anebo přímo u zákazníka, dle dohody.

Zde mezi konkurenční VBD HG NX můžeme zařadit destičky ze slinutého karbidu s povlakem PVD – Al_2O_3 , které jsou ideální pro provozně bezpečné obrábění těžko obrobitelných materiálů a nerezavějících ocelí. Jejich označení je ODHX, ODMT a ODMW a jsou upevňovány do frézovacího tělesa. Tento nástroj je vhodný pro rovinné, ponorné frézování, dále pak pro srážení hran a vyvrtávání kruhovou interpolací. Maximální produktivita je zajištěna díky 8 břitům na jednu vyměnitelnou břitovou destičku. Lze s nimi obrábět všechny druhy materiálu a jsou vyráběny v kompletním spektru geometrií. Ostře, leštěné geometrie s nejmodernějšími povlaky PVD vytváří při obrábění neželezných kovů měkké řezy.[8]

	Toleranční třída	Počet břitů	d mm	s mm	α	b mm
	H	8	15,88	5,56	15°	6,0

Obr. 19 Technický popis ODHX [8]



Obr. 20 Frézovací těleso F 4080 [8]

2.4.3 Kennametal tools

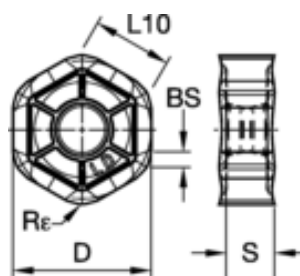
V roce 1938 v USA po letech výzkumu založil metalurg Philip McKenna společnost na výrobu řezných nástrojů ze slitin wolfram-karbid titanu, což znamenalo průlom v obrábění oceli. Později se tato společnost přejmenovala na Kennametal, kde tehdy pracovalo 12 zaměstnanců a roční tržba dosáhla 30 000 dolarů. V současné době Kennametal působí v 60 zemích na celém světě a řadí se mezi elitní výrobce nejmodernějších obráběcích nástrojů, nástrojových systémů a technických služeb.

Kennametal má již dnes 14 500 zaměstnanců, z toho 4400 v Evropě a dosáhl 1,8 miliard US Dolarů, z toho 600 miliónů EUR v Evropě. Společnost je držitelem ocenění „Dodavatel Roku“ od kooperace General Motors již popáté v řadě a management firmy si stanovil cíl získat na trhu vedoucí postavení s obráběcími nástroji a poskytovat zákazníkům nejlepší produkty a služby.



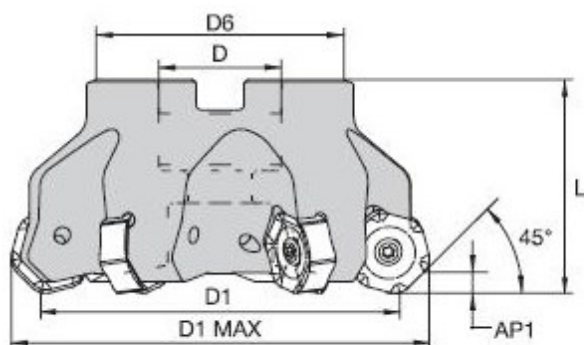
Obr. 21 Ukázka sortimentu výrobků společnosti Kennametal [9]

Frézovací těleso DodekaTM45° osazené destičkou s označením HNGJ je dalším konkurenčním produktem na trhu. Přesně lisované břitové destičky s 12 řeznými hranami jsou speciálně navrženy pro zvýšení produktivity středního obrábění a hrubovacích operací při rovinném frézování. Kennametal zaručuje celkové úspory nákladů 40% jako výsledek více obrobených kusů a snížení nákladů na řeznou hranu. Povlakované destičky ze slinitých karbidů jsou vyráběny ve 4 typech geometrie, které jsou přesně upínány pomocí jednoho šrouby do frézovacího tělesa o průměrech od 40 do 315 mm.[9]



D	S	L10	BS	Rε	hm
15,88	5,56	9	1,8	1,2	0,02

Obr. 22 Břítová destička HNGJ 0905ANFNLDJ [9]



Obr. 23 Frézovací těleso DodekaTM 45° [9]

3 TEORETICKÉ ZÁKONITOSTI PŘI NAVRHOVÁNÍ GEOMETRIE BŘITU VBD

Úkolem třískového obrábění je dosáhnout čistě obrobené plochy s přesnými rozměry a v požadované kvalitě odebráním vrstvy z povrchu materiálu obrobku, to znamená, že odebíraný materiál se přetváří a odvádí z pracovní zóny ve formě třísek.

Oblast mezi třískou a dosud nedeformovaným materiálem obrobku se nazývá rovina stříhu, ve které probíhá vlastní obrábění. V kontaktní ploše mezi nástrojem a obrobkem dochází k opotřebení nástroje, což způsobuje kombinace mechanických, chemických a tepelných vlivů působících na nástroj. Ostří nástroje je často opatřeno zaoblením nebo fazetkou, aby se ovlivnily funkční vlastnosti nástroje, dále se vhodně tvaruje i čelo nástroje, u něhož se opatřuje utvařecí třísky, který má za účel dosáhnout žádoucího tvaru třísky při obrábění konkrétního materiálu. [12]

3.1 Geometrie obráběcích nástrojů

Geometrie nástroje má velký vliv na velikost složek řezné síly, na chvění systému, na utváření a odvod třísek, a tím se výrazně ovlivňuje i kvalita povrchu obrobené součásti a trvanlivost nástroje. Abychom dosáhly požadovaných optimálních výsledků, musíme pochopit a správně volit geometrické parametry.

Nástrojové i geometrické parametry jsou charakterizovány pomocí úhlů, které jsou definovány v příslušných rovinách. Pro identifikaci úhlů řezné části rozlišujeme dvě souřadnicové soustavy:

- **nástrojová rovina** – tato rovina nám definuje řezné části ve statickém pojetí a uplatňuje se hlavně při konstrukci, výrobě, kontrole a ostření nástroje.
- **pracovní rovina** – můžeme jí nazývat také jako efektivní nebo kinetická. V této rovině se identifikuje geometrie v procesu řezání. Názvy rovin a značení je stejné jako u nástrojových, s tím rozdílem, že se přidává index *e*

Rozdíl mezi oběma soustavami je dán velikostí úhlu η . V mnoha případech je tento rozdíl zanedbatelný a je možné pracovat pouze se statickou soustavou. V souvislosti

s geometrií řezného nástroje je určena třetí soustava, která je nazývána soustava obráběcího stroje, která nám slouží ke stanovení geometrie nástroje ve vztahu k obráběcímu stroji. Vztah mezi nástrojovou soustavou a soustavou obráběcího stroje určuje nastavení nástroje na stroji. Značení geometrie nástroje je mezinárodně sjednoceno normou ISO 3002/1 – 1982, ze které vychází i ČSN 220011.[10]

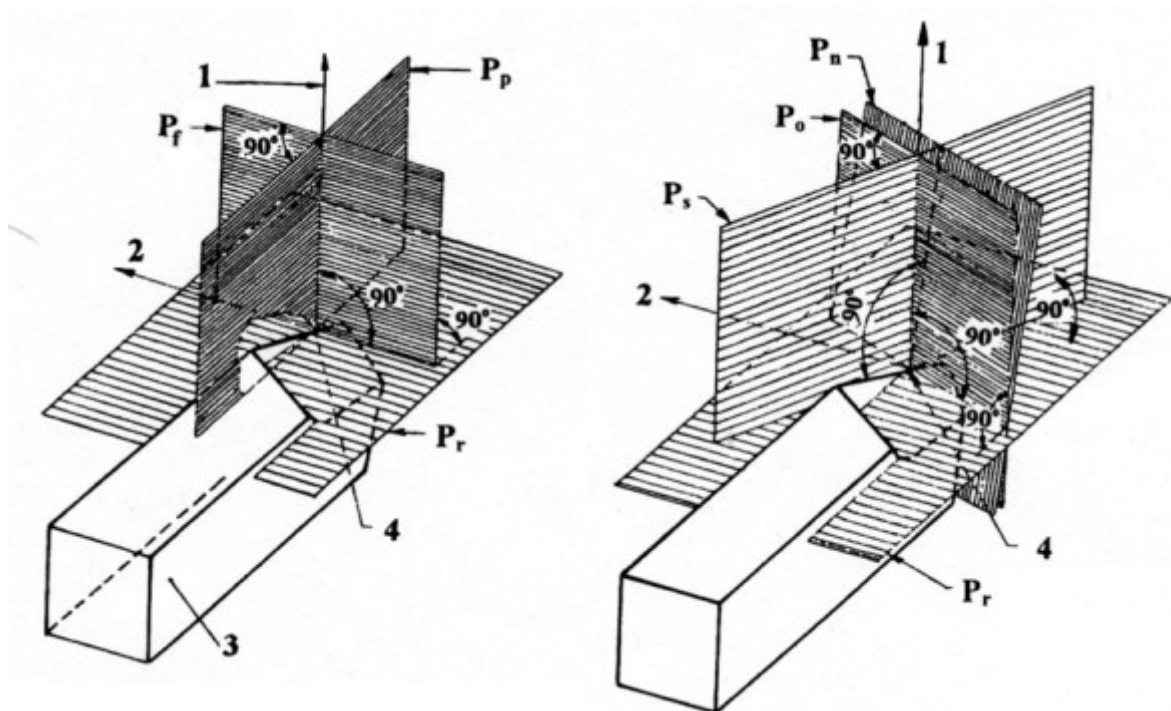
3.1.1 Souřadnicové soustavy

Obráběcí nástroj můžeme sledovat jako geometrické těleso nebo jako pracovní nástroj, s nímž je vykonávána určitá metoda obrábění. Souřadnicové soustavy se umísťují do zvoleného bodu ostří, ve kterém nás geometrie zajímá a je nazván tzv. uvažovaný bod ostří, kterých můžeme zvolit několik na jednom nástroji.[11]

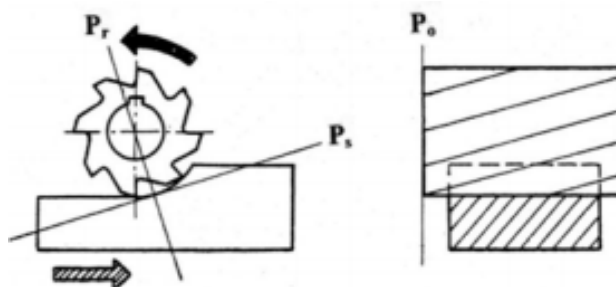
Nástrojové roviny:

- základní rovina P_r – prochází uvažovaným bodem ostří a je kolmá na vektor rychlosti předpokládaného hlavního řezného pohybu v .
- boční rovina P_f – tato rovina prochází uvažovaným bodem ostří ve směru vektoru rychlosti hlavního pohybu a posuvu v_f .
- zadní rovina P_p – je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, která je kolmá na základní rovinu P_r a rovinu boční P_f .
- Tyto tři roviny vytvářejí tzv. nástrojový souřadný systém.

- rovina ostří P_s – tato rovina je tečná k ostří v uvažovaném bodě ostří a kolmá na základní rovinu P_r .
- ortogonální rovina P_o – je rovina, která prochází uvažovaným bodem ostří a je kolmá, jak na základní rovinu P_r , tak na rovinu ostří P_s .
- normální rovina P_n – je rovina kolmá k ostří S v uvažovaném bodě ostří.



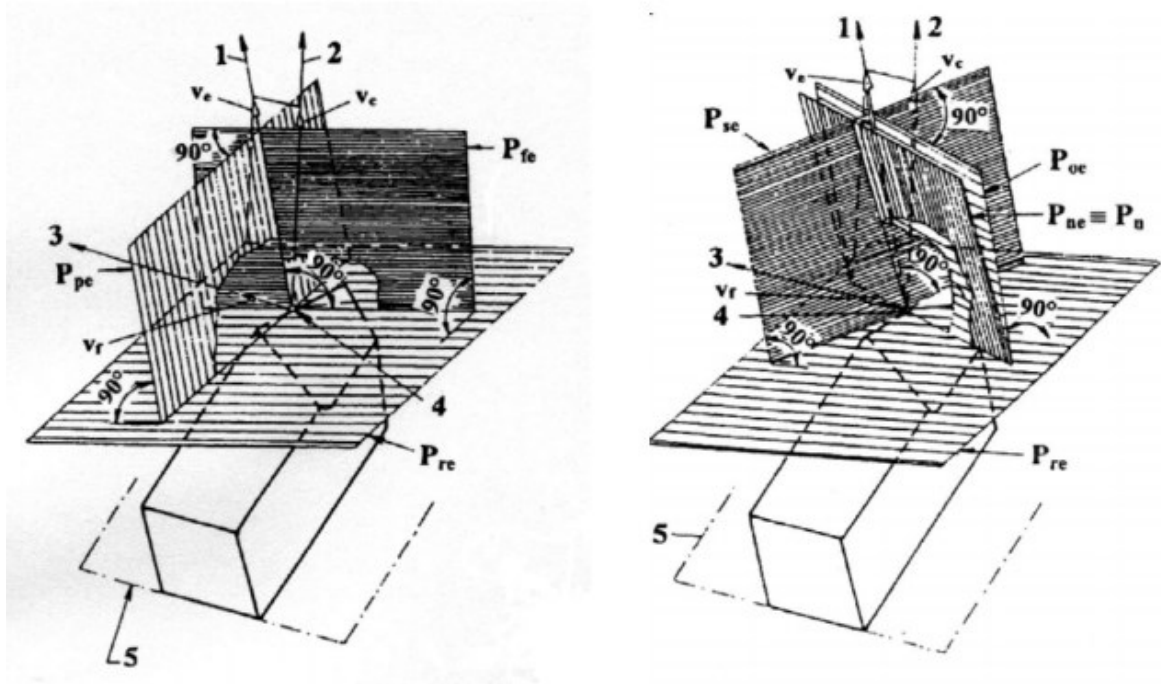
Obr. 24 Roviny nástrojové souřadné soustavy soustružnického nože
(1 – směr vektoru hlavního řezného pohybu, 2 – směr posuvového pohybu, 3 – základna, 4 – uvažovaný bod ostří) [11]



Obr. 25 Vyznačení nástrojových rovin u frézování válcovou frézou [11]

Pracovní roviny:

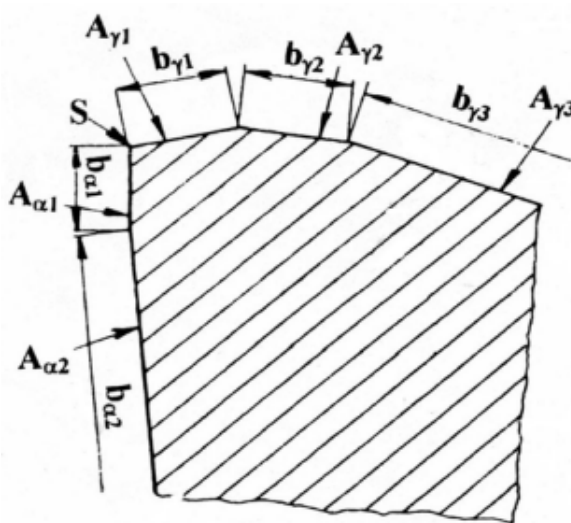
- základní rovina P_{re} – rovina procházející uvažovaným bodem ostří a je kolmá na vektor rychlosti výsledného řezného pohybu v_e . Roviny P_r a P_{re} svírají úhel η .
- boční rovina P_{fe} – tato rovina prochází uvažovaným bodem ostří ve směru vektoru rychlosti hlavního pohybu a posuvu.
- zadní rovina P_{pe} – je rovina, která prochází uvažovaným bodem ostří a je kolmá k základní rovině P_{re} a boční rovině P_{fe} .
- rovina ostří P_{se} – rovina tečná k ostří v uvažovaném bodě ostří a kolmá na základní rovinu P_{re} . V této rovině leží vektor řezné rychlosti v_e .
- ortogonální rovina P_{oe} – je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na základní rovinu P_{re} a na rovinu ostří P_{se} .



Obr. 26 Pracovní souřadnicová soustava pro pravý ubírací soustružnický nůž (1 – směr řezného pohybu, 2 – směr hlavního pohybu, 3 – směr posuvového pohybu, 4 – uvažovaný bod ostří, 5 – rovina obsahující základnu nástroje) [11]

3.1.2 Břit nástroje

Na povrchu břitu nástroje se vyskytuje několik ploch, které se označují symbolem složeným z písmene \underline{A} a indexem tvořeného písmenem řecké abecedy, který určuje druh plochy, např. A_α – čelo. Plochy přiřazené k vedlejšímu ostří se označují tak, že se k symbolu doplní čárka, a to např. A'_α – vedlejší hřbet. Je-li povrch břitu složen z více protínajících se ploch, stanoví se označení postupně. Vychází se od ostří a index plochy břitu se doplní požadovaným číslem označující plochu. Tyto plochy se mohou nazývat fazetkami. [11]



Obr. 27 Břit nástroje [11]

Popis břitu nástroje:

Čelo A_α - je plocha nebo více ploch, po kterých odchází tříska.

Hřbet – jedna nebo více ploch, které jsou přikloněny k ploše řezu a k obrobené ploše. Část hřbetu přikloněná k přechodové ploše je hlavní hřbet (A_α) a část hřbetu přikloněná k obrobené ploše je vedlejší hřbet (A'_α).

Ostří - Teoretické ostří: je průsečnice čela a hřbetu.

Skutečné ostří: je přechodovou plochou mezi čelem a hřbetem.

Hlavní ostří (S): je přechodová plocha mezi čelem a hlavním hřbetem.

Vedlejší ostří (S'): je přechodová plocha mezi čelem a vedlejším hřbetem.

Utvářející ostří: je část ostří nebo místo styku ostří při obrábění s nominálním povrchem obrobku.

Neutvářející ostří: je část ostří nebo ostří, které se nestýkají s nominálním povrchem obrobku při obrábění.

Špička – je část ostří tvořící přechod mezi hlavním a vedlejším ostřím. Špička může být zaoblená, sražená apod.[11]

3.1.3 Volba geometrických parametrů bříty

V procesu obrábění musí být břity řezných nástrojů přizpůsobeny tak, aby plnily správně a hospodárně svůj účel. Ve strojírenské výrobě se obrábí mnoho druhů kovu, jejichž mechanické a fyzikální vlastnosti se mnohou výrazně liší, zejména tvrdostí, pevností a obrobitelností. Řezné úhly se označují pojmem geometrie bříty, na nichž je závislý výkon a hospodárnost obrábění, trvanlivost nástroje a jakost obrobené plochy. Úhly na břitech mají také velký vliv na průběh tvorby třísek, a tím i na namáhání nástroje při obrábění. Určují velikost řezných sil i množství tepla vyvinutého na bříty a množství energie, kterou je nutno vynaložit. [10]

Prvky geometrie bříty z ohledem na jeho geometrický tvar nám slouží ke konstrukci, výrobě a ostření nástroje. Tyto prvky bříty, které se vztahují k vlastnímu procesu obrábění mají význam k určení vzájemného vztahu mezi nástrojem a obrobkem při řezání). Geometrie bříty je třeba definovat:

- a) z hlediska jeho geometrického tvaru – tím jsou stanoveny nástrojové řezné úhly
- b) z hlediska polohy nástroje (bříty) vůči obrobku – tím jsou stanoveny pracovní řezné úhly

Řezné úhly jsou označovány řeckými písmeny a jsou shodné pro všechny nástroje, ať už jde o nástroj otvorový nebo např. soustružnický nůž.

Jednotlivé geometrické parametry ovlivňují řezný proces především následujícími způsobem:

- nástrojový úhel nastavení hlavního ostří K_r – rozsah hodnot je 45° až 90° a ovlivňuje především tvar třísky a délku ostří v záběru. Vliv hodnoty úhlu se projevuje i v tuhosti špičky nástroje a jejím opotřebením, což má vliv na drsnost obrobeného povrchu součásti.

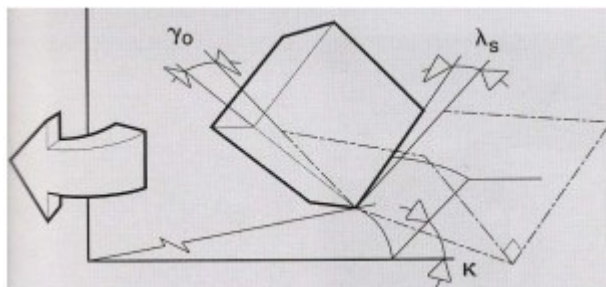
- nástrojový úhel nastavení vedlejšího ostří K_r' - tento úhel ovlivňuje zejména tuhost a opotřebení špičky s následným vlivem na drsnost obrobku.
- nástrojový úhel sklonu ostří λ_s - nabývá hodnot od -6° do $+6^\circ$, včetně nulové hodnoty a ovlivňuje především směr odchodu třísky z místa řezu a tuhost špičky nástroje.
- nástrojový úhel čela Y (Y_o) - se volí hodnoty od -8° do $+8^\circ$ a projevuje se na utváření třísek, poměry velikosti složek síly řezání i opotřebení nástroje. Současně s úhlem hřbetu působí i na tuhost a pevnost bříty nástroje.
- nástrojový úhel hřbetu α (α_o) - tento úhel se obvykle konstrukčně navrhuje v rozmezí od $+8^\circ$ do $+12^\circ$. Zde hodnota úhlu ovlivňuje podmínky tření nástroje o obrobek, poměry velikosti složek síly řezání, vznik tepla zejména třením, tuhost bříty a trvanlivost nástroje.
- nástrojový úhel špičky ε_r - je zpravidla zvolen v rozsahu od 0,2 mm do 5 mm. Poloměr špičky výrazně ovlivňuje strukturu povrchu a platí, že čím je vyšší poloměr, tím je možno využít vyšší posuvové rychlosti nástroje při zvýšené trvanlivosti.

Navrhnout ideální geometrii nástroje je nemožné. Volba je vždy určitá dohoda mezi požadavky na snadné a energeticky výhodné obrábění a požadavky na dostatečnou tuhost, trvanlivost a výkon nástroje. To znamená, že k ideální geometrii se můžeme podstatně přiblížit.

Hodnoty navržených úhlů bříty odpovídají fyzikální podstatě řezného procesu vzhledem k dané operaci a metodě obrábění, druhu a materiálu obrobku z pohledu obrobitelnosti, požadovaným mechanickým vlastnostem obrobku. Dále pak požadované struktuře povrchu a vlastnostem obrobené vrstvy, řezným parametřům, silovému i tepelnému namáhání a zatížení, v neposlední řadě i fyzikálnímu stavu a materiálu bříty. [10]

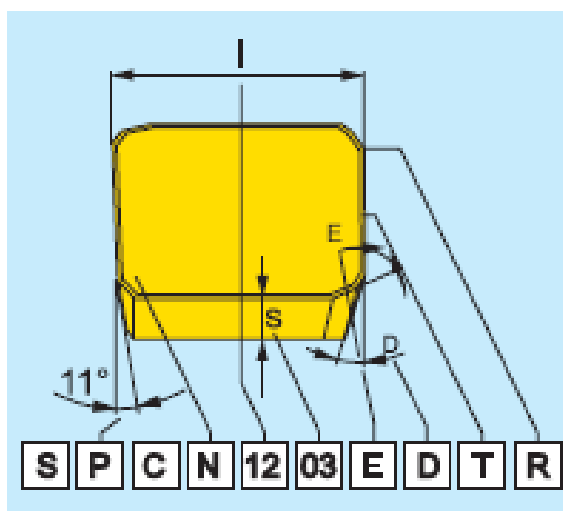
3.2 Geometrie břitu VBD

Ke geometrii břitu frézy patří velký počet úhlů, určujících vzájemně polohu vyměnitelné břitové destičky, která je upnuta v tělese frézy. Na obrázku (obr. 28) jsou znázorněny hlavní tři. Tyto úhly jsou hlavními činiteli, které působí na výkon stroje při obrábění a také na tvorbu a odchod třísky.



Obr. 28 Úhly na nástroji (κ - úhel nastavení hlavního ostří, λ_s - úhel sklonu ostří, γ_o - ortogonální úhel čela) [13]

Vyměnitelné břitové destičky jsou rozdělovány podle kódu ISO. Podle tohoto kódu se orientujeme při volbě destiček z různých katalogů nebo jiných nabídek destiček. Kód (obr. 29) nám postupně udává její tvar (S), úhel hřbetu (P), toleranci (C), provedení destičky (N), délku řezné hrany (12), tloušťku (03), úhel nastavení (D), dále pak provedení řezné hrany (T) a směr posuvu (R). [3]



Obr. 29 Systém značení VBD [3]

1				2		4	
Tvar destičky / Tvar doštičky				Úhel hřbetu / Úhol chrbta		Provedení / Prevedenie	
H	O	P	R	A	B	N	R
S	T	C	D	C	D	F	A
E	M	V	W	E	F	M	G
L	A	B	K	G	N	W	T
					Speciální Speciálny		Speciály Speciálny
				P	O	Q	X

Obr. 30 Ukázka systému značení VBD [3]

Při frézování během otáčky nástroje každý břit vstupuje minimálně jedenkrát do obrobku a jedenkrát vystupuje ze záběru, což ukazuje, že břit frézy téměř vždy pracuje v podmínkách přerušovaného řezu. Kromě toho dochází během frézování k periodické změně tloušťky třísky v průběhu 1 otáčky frézy. To má za následek i kolísání velikosti směru tangenciální složky řezné síly, přičemž je břit frézy vystaven cyklickému namáhání, které je příčinou jeho specifického opotřebení.

Důležité je vhodně zvolit podmínky, které zásadním způsobem ovlivňují průběh i výsledek frézování z hlediska řezného výkonu i kvality obrobenej plochy. Pro trvanlivost břitu frézy jsou tedy rozhodující podmínky, za kterých břit do obrobku vniká a za kterých z obrobku vychází.

V momentě vniknutí do obrobku je břit vystaven více či méně intenzivnímu mechanickému rázu, který vyvolává jeho mechanické namáhání v bezprostřední blízkosti ostří. Tento ráz může vyvolat křehké porušení břitu a to buď ve formě lomu nebo vydrolení ostří, při nevhodně zvolených záběrových podmínkách.

Pro nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami se přesto doporučuje provádět sousměrný záběr, tedy aby břit zabíral od pokud možno maximální tloušťky třísky. Další fakt je, že by mělo místo prvního dotyku břitu s obrobkem ležet dále od špičky a od ostří, což však závisí jednak na základní geometrii břitu tj. úhlech φ_0 , λ_s , χ_r , tak i na vzájemné poloze osy frézy a vstupní hrany obrobku.

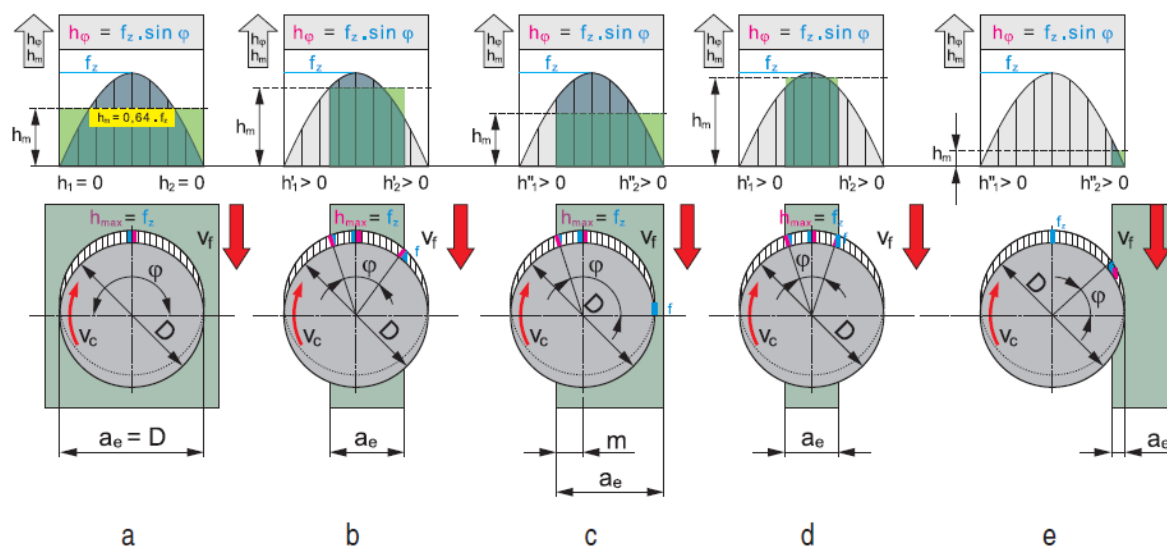
Výstup břitu ze záběru je stejně tak provázen namáháním břitu teplotními rázy způsobenými prudkým ochlazením povrchových vrstev břitu v blízkosti ostří, ale i mechanickým rázem vyvolaným uvolněním pružných deformací zejména povrchových vrstev ob-

robku při rychlém poklesu řezné síly. Z toho důvodu je pro výstup břitu ze záběru žádoucí, aby tloušťka třísky byla malá, jelikož tímto dojde k omezení teplotního rázu i nepříznivého mechanického zatížení břitu. Neměla by být však příliš tenká, protože pak vzniká nebezpečí vydrolení ostří při odtrhávání částic nárůstku, který vzniká při radikálně tenké třísce, dále může dojít i k vzniku otřepu na výstupní hraně obrobku.

Na rozdíl od soustružení, kde je ve většině případů tloušťka třísky konstantní a závisí jen na posuvu a úhlu nastavení hlavního břitu se při frézování mění tloušťka třísky během záběru i každé otáčky a je jednou z nejvýznamnějších veličin při určování pracovních podmínek při frézování.

S ohledem na velkou proměnlivost tloušťky třísky při různých způsobech frézování se obvykle počítá s její střední hodnotou h_m . Tloušťka třísky h se mění během 1 otáčky v závislosti na úhlu φ podle závislosti $h_\varphi = f_z \times \sin \varphi$, kde křivka znázorňující tuto závislost je sinusovka.

Maximální tloušťku třísky rovnou f_z docílí v ose frézy. Střední hodnota tloušťky třísky h_m , kterou odebírá 1 zub během 1 otáčky představuje výšku obdélníka o stejné ploše, jako je plocha pod sinusovkou vztažena na radiální hloubku řezu a_e . Velikost střední tloušťky třísky je závislá na druhu frézy a na záběrových podmínkách zejména na poměru a_e/D , posuvu na zub f_z a přirozeně na úhlu nastavení χ_r . [3]



Obr. 31 Záběrové podmínky při frézování [3]

Střední tloušťka třísky se pro případy frézování podle obr. 32 a, b, c, d vypočte podle vzorce:

$$h_m = f_z \cdot \sin K_r \cdot 57,3 \left(\frac{a_e}{D \cdot \arcsin \left(\frac{a_e}{D} \right)} \right)$$

resp. posuv f_z pro zvolenou hodnotu h_m podle vzorce:

$$f_z = \frac{h_m}{\sin K_r} \left(\frac{D \cdot \arcsin \left(\frac{a_e}{D} \right)}{57,3 \cdot a_e} \right)$$

kde: h_m - střední tloušťka třísky [mm], f_z - posuv na zub [mm.zub⁻¹], a_e - radiální hloubka řezu [mm], D - průměr frézy [mm], χ_r - úhel nastavení hlavního břitu [°]

Pro frézování podle obr. 32e kdy je poměr a_e/D velmi malý < 0,2 se pro výpočet střední tloušťky třísky h_m doporučuje použít vzorec:

$$h_m = f_z \cdot \sin K_r \sqrt{\frac{a_e}{D}}$$

resp. pro posuv f_z pro požadovanou hodnotu h_m :

$$f_z = \frac{h_m}{\sin K_r} \sqrt{\frac{D}{a_e}}$$

3.2.1 Hladící břit VBD

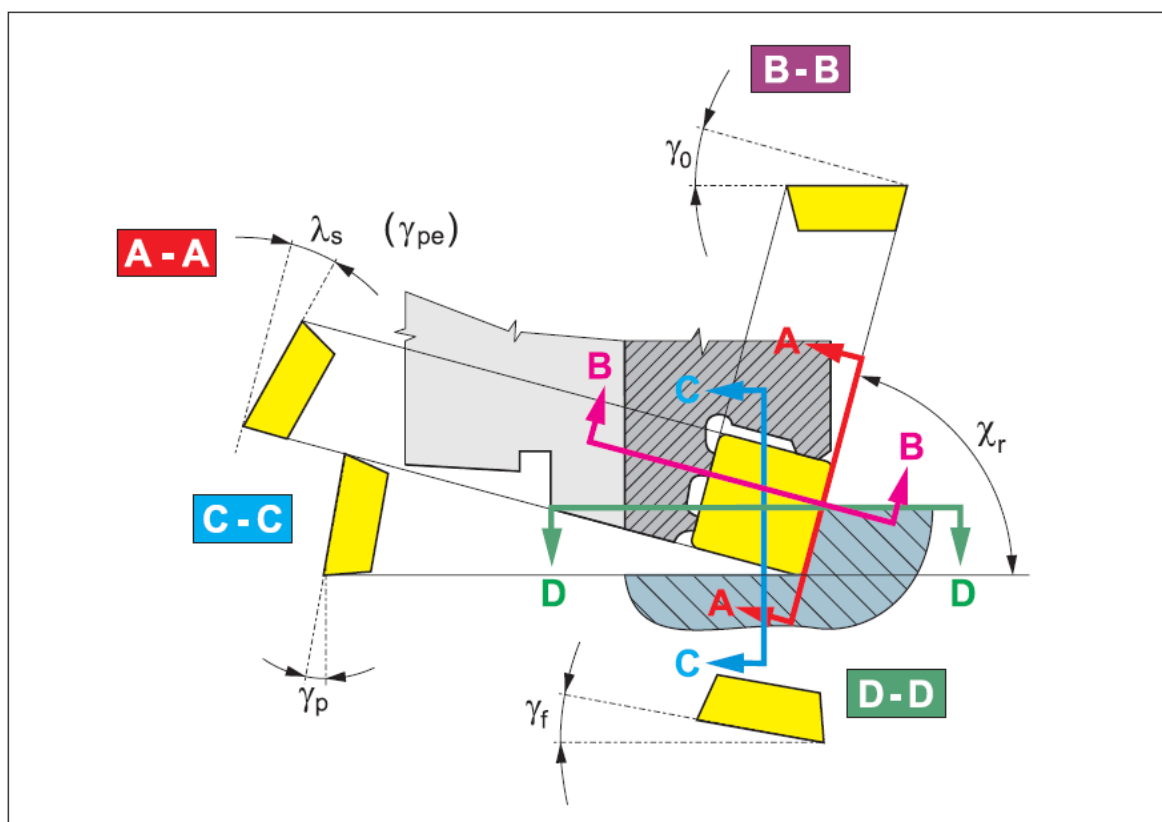
Je-li požadována vysoká jakost obrobeného povrchu a především při obrábění velkým posuvem, není přechodová fasetka mnohdy dostačující k tomu, aby bylo možné dosáhnout přijatelné jakosti obrobeného povrchu. Hlavním předpokladem pro dosažení vysoké kvality povrchu je přesné nastavení všech břitů v tělese frézy. K tomuto účelu se používají speciální nástroje, které mají schopnost axiálně přestavit břity nástroje.

Moderní tělesa fréz pro vyměnitelné břitové destičky mají v dnešní době takovou přesnost, že se nabízí požití břitových destiček hladících, které mají mnohem širší fasetku (b_s). Hladící břit u vyměnitelných břitových destiček je proti čelním fasetkám ostatních destiček poněkud axiálně vysunut, což nám dosahuje hladce opracovaný povrch.

Při použití hladících vyměnitelných břitových destiček pro jemné obrábění se zmenší především vlnitost, kterou má za následek malá tuhost uložení vřetene, poškozené stykové plochy vřetene a frézy nebo nečistoty a třísky mezi dosedacími plochami. Je-li posuv na otáčku větší než šířka čelní fasetky, je drsnost obrobeného povrchu ovlivněna dvěma nebo více břity. Vlnitost je přitom závislá na rozdílu axiálního vysunutí mezi těmito fasetkami.

Hladicí VBD je možné s dobrým výsledkem použít i pro obrábění materiálů, které tvoří krátkou třísku. Dále také při obrábění ocelí se hladicí VBD uplatňují, ale jen v malé míře, jelikož mohou nastat komplikace s odchodem třísky a s vibracemi. Také opotřebení břitu těchto destiček je větší než u ostatních. [13]

3.2.2 Konstrukční a pracovní úhly frézy



Obr. 32 Poloha břitové destičky upnuté v tělese nástroje [3]

Poloha břitové destičky je určena několika úhly:

Konstrukční úhly (nástrojové úhly) slouží k základní orientaci polohy lůžka, do kterého se vkládá břitová destička a má význam hlavně pro konstrukci tělesa frézy. Jde o dva úhly

čela axiální úhel čela φ_p (nástrojový zadní úhel čela) a radiální úhel čela φ_f (nástrojový boční úhel čela).

Pracovní (funkční) úhly jsou úhel nastavení χ_r , ortogonální úhel čela φ_o uhel sklonu ostří λ_s .

Ortogonální úhel čela φ_o - má vliv na velikost plastické deformace třísky, tudíž na velikost řezné síly a na úroveň řezné teploty. Čím větší je úhel φ_o , tím menší jsou řezné síly a tím menší je i nutný výkon hnacího motoru frézky a naopak. Zmenšující se úhel φ_o má za následek růst řezné síly i řezné teploty.

Úhel nastavení χ_r - stanovuje při určitém posuvu na zub f_z a axiální hloubce řezu a_p tloušťku a šířku třísky. Tím ovlivňuje řezné síly, specifické zatížení, opotřebení a trvanlivost břitu. Zmenšující se úhel nastavení χ_r při konstantním posuvu f_z má za následek zmenšení tloušťky třísky h .

Úhel sklonu ostří λ_s - spolu s úhlem nastavení χ_r a úhlem čela φ_o , určuje místo prvního dotyku břitu s obrobkem při vnikání břitu. Proto má vliv na odolnost břitu vůči křehkému porušení při obrábění přerušovaným řezem obecně. Současně má vliv i na směr odchodu třísky z místa řezu. [3]

4 KONSTRUKČNÍ ZPRACOVÁNÍ A TECHNOLOGIE VÝROBY PROTOTYPŮ

Prvořadým řezným materiálem dnešní doby se staly povlakované slinuté karbidy ve formě vyměnitelných břitových destiček, které svými vlastnostmi odpovídají požadavkům kladeným na ideální řezný nástroj. Tyto břitové destičky se za pomoci různých mechanismů přímo nebo prostřednictvím kazet upínají do těles nástrojů. Sféra použití slinutých karbidů je velmi široká. Používají se pro jemné obrábění i pro těžké hrubování téměř všech druhů materiálů na nejrozmanitějších obráběcích strojích. [2]

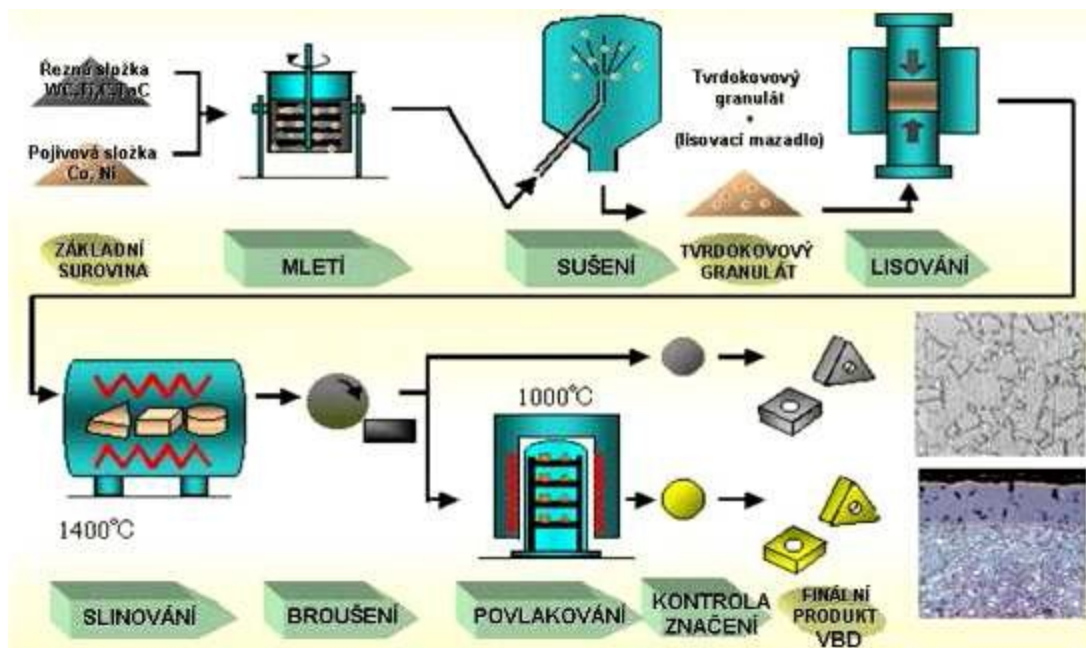
4.1 Technologie výroby

Výroba slinutých karbidů je realizována technologií, která se nazývá prášková metalurgie. Ta se zabývá přípravou prášku daných karbidů a pojících kovů, jejich smíchání v náležitých poměrech, lisováním směsi a slinování výlisku.

Podstatou celého procesu je lisování směsi prášku tvrdých karbidických částic s práškem pojícího kovu, nejčastěji kobaltu, a následné slinování při teplotě poblíž bodu tavení pojiva. Tím vzniká soudržný materiál, jehož tvrdost se blíží tvrdosti výchozích karbidů a který má mimořádně vysokou pevnost, a to zejména v tlaku i pevností v ohybu, jelikož jeho struktura je tvořena pevnou kostrou pojícího kovu, která obklopuje zrna poměrně křehkých karbidů. [2]

Výrobu slinutých karbidu můžeme rozdělit na základní operace:

- a) Příprava a výroba prášků
- b) Lisování polotovaru
- c) Slinování
- d) Úprava tvaru
- e) Povlakování



Obr. 33 Schéma postupu výroby slinutých karbidů [14]

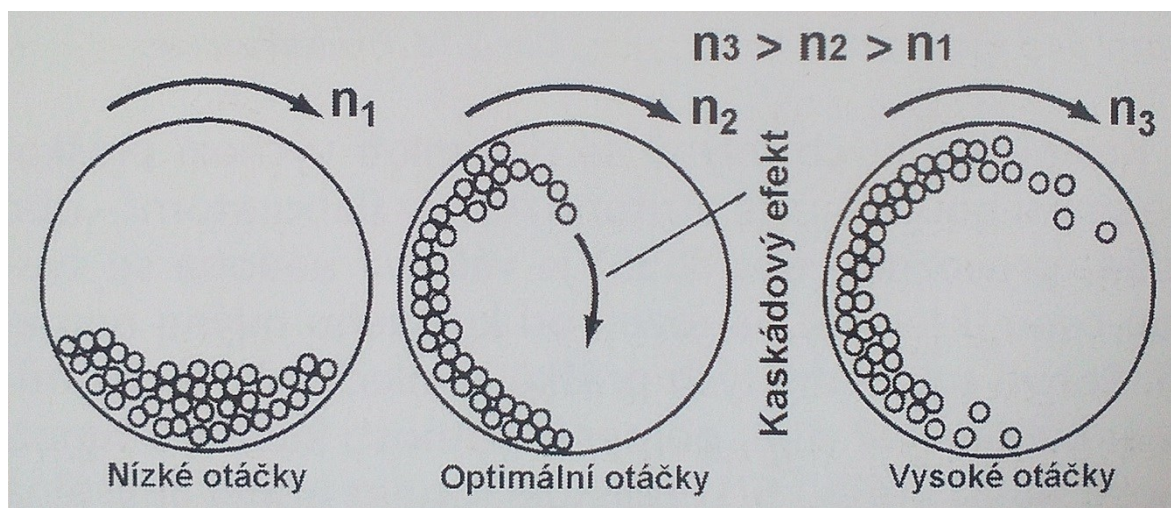
4.1.1 Příprava a výroba prášku

Významnou částí technologického procesu výroby slinutých karbidů je příprava směsi karbidů s pojícím kovem, protože výrazně ovlivňuje vlastnosti výsledného produktu. Důležitým cílem je vytvoření jemnozrné, homogenní práškové směsi karbidů a pojícího kovu. Utváří se mletím směsi za sucha nebo v kapalném prostředí, a to v interní organické kapalině. Po ukončení procesu je nesmírně důležité, aby byla jemná, rovnoměrně rozptýlená karbidická zrna dokonale obalena ještě jemnějším práškem pojícího kovu.

Mokrý mletí je výhodnější, jelikož pracovní kapalina napomáhá disperzi jednotlivých částic, kde vznikají úzké trhlinky a dochází působením kapilárních sil k nárůstu napětí, trhlinky se rozšiřují a rozrušují konglomerát i jednotlivá zrna.

Mletí často probíhá v kulových mlýnech a to tak, že při pohybu uvnitř bubnu působí mlecí kuličky na pracovní směs rázovým a třecím účinkem. Tento dlouhodobý proces může trvat i několik dnů a po mletí se směs prášků prosívá.

Rozhodujícím faktorem při procesu mletí je rychlost rotačního pohybu kulového mlýnu, který určuje životnost zařízení a účinnost procesu. Je zcela důležité, aby kuličky při rotaci mlýnu padaly z horní části vnitřního prostoru na materiál, který se nachází v dolní části. [2]

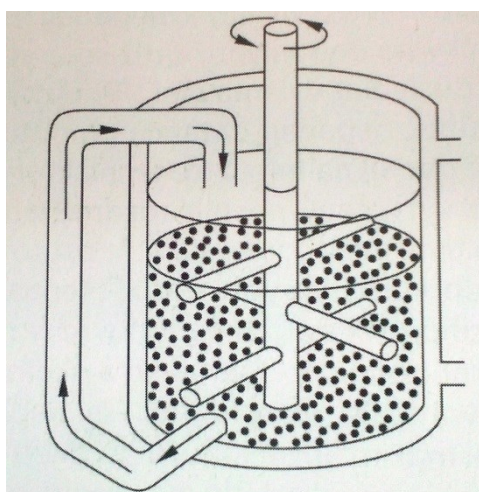


Obr. 34 Pohyb mlecích kuliček v kulovém mlýnu [2]

K zajištění maximální účinnosti při mletí směsi prášku pro výrobu slinutých karbidů je třeba zaručit následující podmínky:

- optimální otáčky kulového mlýnu (60% kritických otáček)
- objem náplně mlýnu ($0,4 \div 0,5$ celkového objemu komory mlýnu)
- poměr hmotnosti mlecích kuliček k hmotnosti směsi mletých prášků ($3/1 \div 5/1$)
- průměr kuliček ($D=5 \div 10$ mm)

Dalšími zařízeními pro přípravu směsi prášku jsou používány atritory. Atritor je nádoba ve tvaru válce se svislou osou, která se na rozdíl od kulového mlýne neotáčí. Pohyb směsi a mlecích kuliček vytváří rotující hřídel umístěná v ose atritoru, na které jsou kolmo k ose rotace upevněna míchací ramena.



Obr. 35 Pohyb náplně atritoru [2]

Nejdůležitějšími faktory při výrobě prášků jsou vztah povrchu částic k jejich objemu a zvýšení vnitřních poruch, jelikož mají výrazný vliv na jejich technologické vlastnosti při lisování a slinování i na konečné vlastnosti hotového výrobku. Zmenšením průměrné velikosti částic se zvyšuje jejich měrný povrch a klesá drsnost povrchu, což má za následek zvýšení kapilárních sil v objemu prášku, tj. geometrická aktivita. Strukturní aktivita je název pro zvýšenou reakční schopnost, která je způsobena vysokou zbytkovou energií povrchu vzhledem ke kompaktnímu tělesu.

Současné výrobní procesy práškové metalurie dovolují s velkou přesností řídit a kontrolovat jak složení slinutých karbidů, tak i jejich zrnitost. Některé slinuté karbidy vyžadují. Některé slinuté karbidy vyžadují kromě základního karbidu wolframu použití přísady dalších karbidů, a to především TiC, TaC, NbC, nebo jejich kombinace. Tyto materiály jsou vyráběny přidáním odpovídajícího množství samostatných karbidů nebo tzv. směsných karbidů. Směsný karbid (W,Ti)C lze vyrobit ze směsi TiO_2 , čistých sazí a karbidu wolframu. Směs je žíhána 1÷2 hodiny za vysokých teplot, které jsou zapotřebí pro vytvoření TiC, v grafitové trubkové peci. Prostředí v peci je vakuum nebo vodíková atmosféra, kde se směs rovnoměrným pohybem přemísťuje podél pece.

Tab. 1 Chemické složení směsných karbidů (W, Ti)C

Prvek		Obsah [%] v karbidu typu	
		9,7 ÷ 10,2 WC/TiC = 70/30	WC/TiC = 50/50
C	celkem	9,7 ÷ 10,2	12,5 ÷ 13,0
	volný	max. 0,30	
W		64,5 ÷ 66,0	46,0 ÷ 47,5
Ti		24,0 ÷ 25,5	39,5 ÷ 41,0

Dalším směsným karbidem je karbid [W, Ti, Ta(Nb)]C, který je vyráběn ve stejném zařízení jako karbid (W,Ti)C, tantalovou surovinou je nejčastěji oxid tantalečný, lze také použít prášek čistého tantalu.[2]

Tab. 2 Chemické složení směsných karbidů [W, Ti, Ta(Nb)]C

Prvek		Obsah [%] v karbidu typu	
		WC/TiC/TaC =50/30/20	WC/TiC/TaC =33/33/26/8
C	celkem	9,7 ÷ 10,2	10,8 ÷ 11,1
	volný	max. 0,15	
W		45,9 ÷ 47,9	31,0 ÷ 32,0
Ti		23,0 ÷ 25,0	26,4 ÷ 27,4
Ta		17,8 ÷ 19,8	23,0 ÷ 24,0
Nb		---	6,8 ÷ 7,4

4.1.2 Lisování

Lisování neboli formování směsi práškových karbidů a pojícího kovu lze:

- ve formovacích lisech (nejčastěji využívána při výrobě vyměnitelných břitových destiček)
- izostatickým lisováním za studena (CIP – Cold Isostatic Pressing)
- hydrostatickým lisováním
- vytlačováním přes trysku požadovaného tvaru
- litím či vstřikováním do pomocných forem

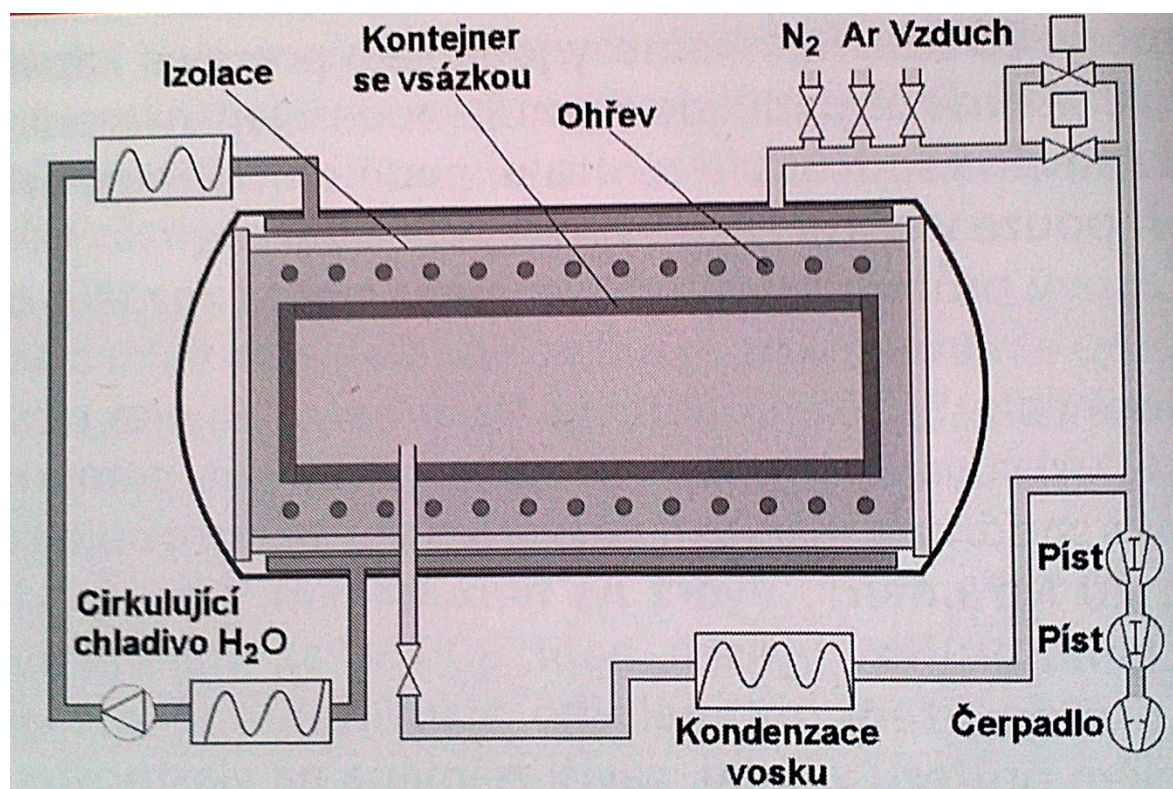
Jde o tvarování vysoce disperzních směsí s nízkou plasticitou, proto se přidává do nich plastifikátor, v množství 0,5 ÷ 2 hm. %). Tato látka snižuje tření mezi lisovacími nástroji a lisovanou směsí, usnadňuje vzájemný skluz částic, přidává polotovaru doplňkovou pevnost a zaručuje zachování tvaru po vyjmutí polotovaru z lisovací formy. Plastifikátor se musí nechat lehce odstranit při sušení nebo předslinování za nižších teplot a nesmí znečistit polotovar nežádoucími příměsemi.

Tlaky při lisování jsou poměrně nízké a pohybují se v rozmezích 50 ÷ 150 Mpa. Nejčastěji je používána metoda oboustranného lisování, kdy se dva lisovníky pohybují proti sobě a lisují směs, která leží mezi jejich čelními plochami, aby výlisek byl rovnoměrně zhutněn v celém objemu.

Lisy pro lisování polotovarů jsou mnohdy nazývány jako „tabletové“ nebo „pilulkové“ a obvykle zaručují konstantní tlak ve všech směrech.[2]

4.1.3 Slinování

Procesem slinování je materiál zhutňován, kde se vytváří hranice mezi zrny tvrdé fáze a difuzní procesy přeskupí jednotlivé složky. Samotný průběh slinování je takový, že vylisované těleso je umístěno do slinovací pece, kde je ohříváno a následně ochlazováno za určitých podmínek, a to v atmosféře H_2 , Ar nebo ve vakuu. Po skončení procesu výrobek získává zhutnění, má požadovanou mikrostrukturu a vykazuje očekávané mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti.



Obr. 36 Schéma slinovací pece [2]

Proces slinování může být rozdělen na dvě části - předslinování, kde dochází k odstranění plastifikátoru beze změny tvaru nebo chemické složení tělesa při teplotách $700 \div 850^\circ C$ a samotné slinování, i když tyto dvě části mohou být spojeny do jedné operace.

Slinutý výrobek obsahuje tvrdé karbidické částice a vytváří souvislou kostru, která mu dodává houževnatost. Tato pojivá fáze zahrnuje především kobalt a malé množství rozpuštěného wolframu. Nad teplotou $418^\circ C$ má kobalt stabilní strukturu, tvořenou plošně středěnou kubickou mřížkou, pod touto teplotou má těsně zaplněnou hexagonální mřížku.

V důsledku rozpuštěného wolframu je kubická mřížka kobaltu stabilizována a nezmění se ani po ochlazení slinovaného tělesa, což vede k tvoření vrstvených chyb.

Slinování může probíhat v ochranné atmosféře nebo ve vakuu a má zpravidla tři etapy:

- předběžný ohřev, který je při teplotě $700 \div 1000$ °C a dochází k odstranění plastifikátoru
- ohřev na pracovní teplotu a výdrž na této teplotě, která je nad teplotou vzniku tekuté fáze, podle obsahu kobaltu v materiálech je tato teplota v rozmezí $1350 \div 1650$ °C
- ochlazení, kdy v této etapě stále probíhá difuze v materiálu, proto může rychlost ochlazování ovlivnit výsledné vlastnosti slinutého tělesa

Po ochlazení jsou hotové výrobky vyjmuty z kontejnerů, a tím je proces slinování ukončen.[2]

4.1.4 Úprava tvaru

Po skončení slinování je zapotřebí k získání konečného tvaru VBD další úpravy. Břitové destičky jsou velmi přesné výrobky a je zde kladen velký důraz na tvar a geometrii, kterou často nelze dosáhnout při lisování, proto se musí brousit a to především na dosedacích a obvodových plochách. Dále bývají často broušeny poloměry špičky, zaoblení řezné hrany, čelní a hřbetní fazetky, tvarové profily i utvařeče.

Brousí se pomocí diamantových kotoučů, které jsou zejména určeny pro broušení tvrdých materiálů, jako jsou zmiňované slinuté karbidy, litiny, žáruvzdorné a vyzdívkové materiály, návary obsahující WC a kompozity.

K dalším úpravám při výrobě břitových destiček patří leštění čelních ploch, kartáčování a pískování, což výrazně zpřesňuje řezné hrany, které se touto metodou zaoblují v rozsahu 20 až 100 μm. Destičky, které se budou dále povlakovat, prochází procesem čištění, pro lepší uchycení povlaku, což se provádí odmašťováním nebo mechanickým čištěním.[2]

4.1.5 Povlakování

Povlaky se v dnešní době nanášejí na podkladové slinuté karbidy, které jsou vyráběny speciálně k danému účelu. Nanáší se tenká vrstva materiálu s vysokou tvrdostí a vynikající odolností proti opotřebení. Povlakovaný materiál ve srovnání se substrátem neobsahuje žádné pojivo, má o jeden i více řádů jemnější zrnitost a méně strukturních defektů a kromě toho zabraňuje difuznímu mechanismu opotřebení nástroje. Vlastnosti povrchové vrstvy povlaku se podstatně podílejí na zamezování tvorby nárůstku na břitu nástroje.

Povlaky slinutých karbidů se obvykle uvádějí podle vývojového stupně:

- 1. generace: jednovrstvý povlak s tloušťkou asi 6 μm , nedokonalá technologie způsobila špatnou soudržnost podkladu a povlaku, při obrábění takovými nástroji docházelo k odlupování povlaku, což vedlo k znehodnocování nástroje.
- 2. generace: jednovrstvý povlak bez eta-karbidu na přechodu podklad-povlak, zde proběhlo zdokonalení technologie výroby, které umožnilo vytvořit vrstvy povlaku o větší tloušťce, a to 7 až 10 μm , bez nebezpečí jejich odlupování.
- 3. generace: vícevrstvý povlak, zpravidla 2 až 3 vrstvy, případně i více s ostře ohraničeným přechodem mezi jednotlivými vrstvami. Vrstvy byly řazeny podle jejich vlastností tak, že jako první jsou nanášeny na podklad vrstvy s lepší přilnavostí, které mají poměrně nižší odolnost proti opotřebení. Jako poslední jsou nanášeny vrstvy, které nemusí mít dobrou přilnavost, ale je od nich požadována především vysoká tvrdost a odolnost proti opotřebení a oxidaci za zvýšených teplot.
- 4. generace: speciální vícevrstvý povlak, který se často skládá z více deseti vrstev a mezivrstev s méně nebo více zřetelnými přechody mezi jednotlivými vrstvami. Tyto povlaky mají schopnost odklánět a zpomalovat šíření trhlin od povrchu povlaku k substrátu. K těmto povlakům se přiřazují i diamantové, nanokompozitní, gradientní, supermřížkové i povlaky z kubického nitridu boru. [2]

Metoda PVD (Physical Vapour Deposition – fyzikální napařování)

Tato metoda je charakterizována nízkými pracovními teplotami, a to pod 500°C, což je vhodné pro povlakování nástrojů z rychlořezné oceli. V poslední době došlo k významnému rozvoji metody PVD, která umožňuje aplikovat povlak i na slinuté karbidy.

Metodou PVD je povlak nejčastěji nanášen:

- napařováním, to může být přímé, reaktivní, aktivované reaktivní nebo s asistencí iontového paprsku.
- napařováním, vytváří se doutnavý výboj nebo pomocí iontového paprsku.
- iontovou implantací, ta je tvořena doutnavým výbojem nebo iontovým paprskem, který může být přímý nebo skupinový.

Zde jsou povlaky tvořeny za sníženého tlaku, v rozmezí 0,1÷1,0 Pa kondenzací částic. Tyto částice jsou uvolňovány ze zdroje fyzikálními metodami, kterými jsou rozprašování nebo odpařování. Uvolněné částice jsou ionizovány, reagují s atmosférou, která je tvořena reaktivním plynem. Záporným předpětím jsou urychlovány k povrchu substrátu a zde se usazují v podobě tenké vrstvy homogenního povlaku. [2]

Metoda CVD (Chemical Vapour Deposition – chemické napařování z plynné fáze)

Charakterem této metody je, že probíhá za vysokých teplot 1000÷1200 °C a zejména se používá pro povlakování slinutých karbidů.

Metoda CVD může být realizována:

- tepelně indukována
- plazmaticky aktivována
- elektronově indukována, tj. paprsek elektronů
- fotonově indukována, např. laserem

Jde o chemický proces povlakování, který je zřízen reakcí plynných chemických sloučenin v plazmě. Ta se tvoří v přímé blízkosti povrchu podkladového slinutého karbidu a následném uložení produktů heterogenní reakce na tomto povrchu. Základem je, aby se výchozí plyny zahrnovaly stabilní, ale přitom prchlavou sloučeninu, která se v dopadu na přivedenou energii chemicky rozkládá. [2]

5 PRŮBĚH, ZPRACOVÁNÍ A VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH ZKOUŠEK

V experimentální části diplomové práce se zaměříme na určení hladicí geometrie u VBD pro dosažení kvalitního povrchu při frézování. Na základě současných použitých řešení Prametu a porovnáním s řešením konkurence jsme navrhli parametry břitu. Pro danou zkoušku byly vybrány dva typy vyměnitelných břitových destiček, u kterých budeme postupně nastavovat úhel hladicí plochy, ta má důležitou funkci na kvalitu povrchu obráběného materiálu. Experiment je prováděn ve zkušební firmě Pramet, kde se testují veškeré nové produkty i další důležité zkoušky pro vývoj.

Cílem zkoušky je vyhodnocení hladicí geometrie u VBD, která bude splňovat ideální kritéria z hlediska drsnosti povrchu obrobeného materiálu.

5.1 Testované břitové destičky HNGX-F a HNGN

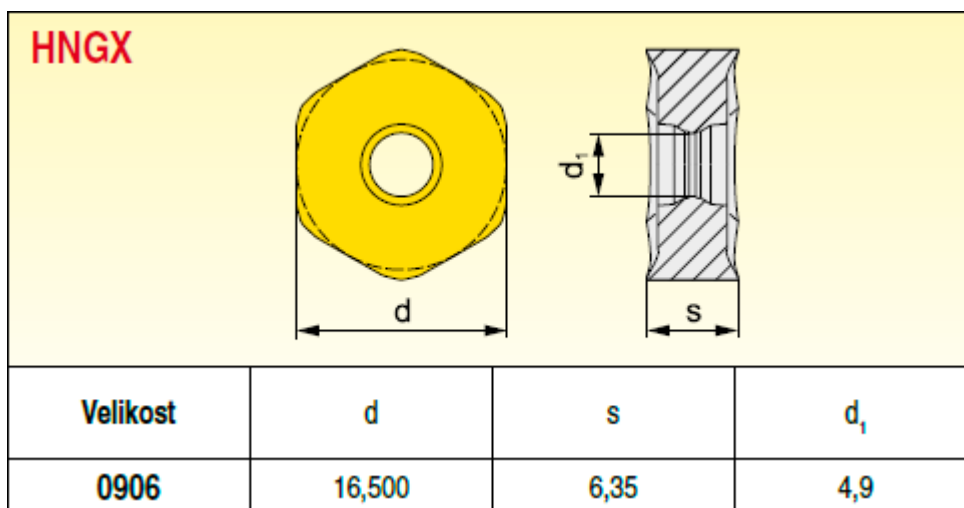
Volba břitových destiček byla provedena firmou Pramet Tools, která ze svého sortimentu vybrala břitové destičky s označením HGNX-F a HNGN, ty disponují 12 reznými hranami a jsou vyrobeny z materiálu 8230.

Tento materiál je velice výkonný a provozně spolehlivý pro frézovací operace, které vyžadují houževnatost i dobrou otěruvzdornost břitu. Řada 8230 je vhodná pro frézování běžných ocelových materiálů, korozivzdorných ocelí, litin, žárupevných slitin, zušlechťených a kalených ocelí. Je vyhovující zejména pro nestabilní záběrové podmínky a pro střední rezné rychlosti.

Substrát materiálu 8230 je slinutý karbid vyráběný z jemně zrnitého karbidu wolframu s 10 % obsahem kobaltu.

Jak už bylo zmíněno v prvním bodě práce, destička HNGX-F s utvařečem třísky má vysoce pozitivní geometrii s úzkou obvodovou fazetkou a její využití je vhodné především pro lehké a střední obrábění.

Tyto VBD s PVD povlaky o tloušťce 3,5 až 5,5 μm tvoří multivrstva nové generace kombinující nižší vnitřní pnutí vrstvy na bázi TiN s vrstvou na bázi TiAlN charakterizovanou vyšší abrazivní odolností. [3]



Obr. 37 Rozměry VBD HNGX [3]

Dalším zkušebním vzorkem v tomto experimentu je VBD s označením HNGN, která se materiálem i základním tvarem podobá předchozí destičce (HNGX-F). Zde není aplikován žádný povlak a liší se geometrií, a to tak, že nemá vytvořen utvařeč třísky, tudíž lze předpokládat, že bude při hrubovacích operacích náchylnější na opotřebení a deformaci břitu.

5.2 Stroj a zařízení

5.2.1 Volba obráběcího stroje

K rovinnému frézování je k dispozici obráběcí centrum CNC-FCV 63 SCA, který je součástí zkušební laboratoře Pramet Tools s.r.o. Tento stroj je ovládán pomocí řídicího systému Heidenhain TNC 310.

Tab. 3 Technická data

Výrobce:	Goos s.r.o. Kuřím
Typ:	FCV 63 SCA
Výkon ve vřetení:	32 kW
Otáčky vřetene:	3000 ot/min
Řídicí systém:	Heidenhain TNC 310



Obr. 38 Obráběcí centrum FCV 63 SCA

5.2.2 Měřicí zařízení

Pro nastavení úhlu hladící plochy u vyměnitelných břitových destiček nám slouží seřizovací přístroj BMD 465v. Zařízení je vybaveno optikou pro přesné měření a posuvem ve třech osách. Dále můžeme tento přístroj připojit k PC, kde můžeme sledovat přesné hodnoty posuvu. K tomuto přístroji slouží další příslušenství:

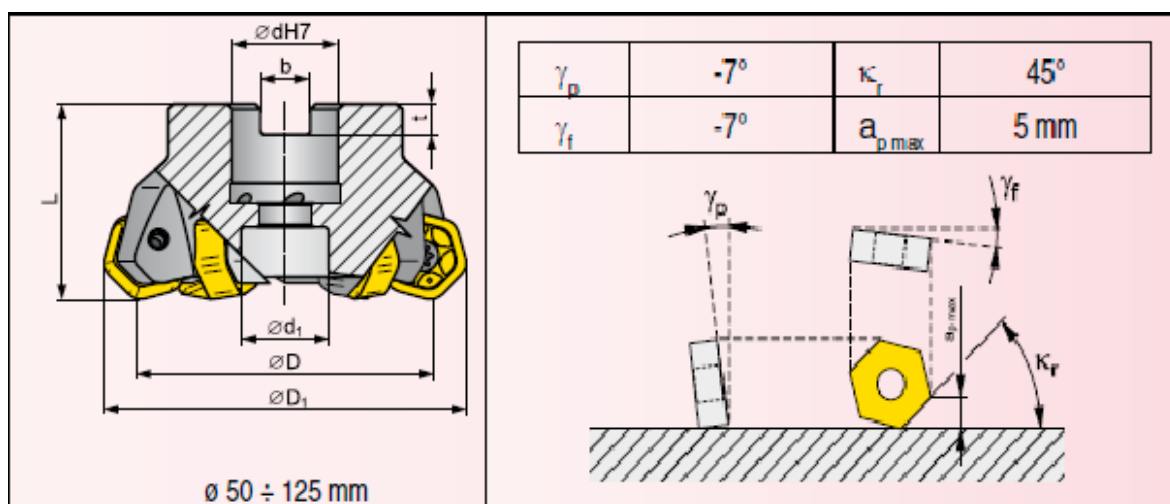
- kontrolní trn 50x50x300 mm
- páčkový úchylkoměr
- magnetický stojánek
- digitální úchylkoměr
- kontrolní trn SK 50
- stupňovitý etalon



Obr. 39 Seřizovací stroj BMD 465v

5.2.3 Těleso frézy pro upnutí VBD

Vyměnitelné břitové destičky HNGX-F a HNGN jsou upínány do lůžka v tělese frézy S 45 HN09. Do této frézy lze upnout 6 kusů VBD. Úhel nastavení destičky je 45° , nástrojový boční úhel čela je -7° a nástrojový zadní úhel čela je -7° . Maximální hloubka záběru je 5 mm. Průměr frézy, kterou provádíme zkoušky je 63 mm.



Obr. 40 Těleso frézy S 45 HN09C [3]

ISO	Sortiment	Rozměry / Rozmery											Chlazení Chłodzenie	[kg]
		D	dH7	d ₁	L	D ₁	b	t	Z*	-	-	-		
63A06R-S45HN09C-C	●	63	22	18,0	40	74,7	10,4	6,3	6				+	0,49

Obr. 41 Technický popis-Těleso frézy S 45 HN09C [3]

5.2.4 Zařízení na měření drsnosti

Pro měření drsnosti povrchu jsme použili vysoce výkonný přístroj HOMMEL-ETAMIC W5.

Charakteristika přístroje:

- drsnoměr třídy přesnosti 1, podle DIN 4772
- barevný displej se semaforem tolerancí
- možnost sestavení až 5 měř. programů
- paměť na 100 profilů, max. 10 000 měření
- snímače T1E/T3E - kompatibilní se snímači pro HOMMEL-ETAMIC T1000 basic
- ochranná snímače s LED osvětlením
- možnost připojení tiskárny P5 přes Bluetooth rozhraní



Obr. 42 Přístroj na měření drsnosti HOMMEL-ETAMIC W5 [15]

5.3 Obráběný materiál

Materiál, který se obrábí při experimentu, je zvolena konstrukční ocel 12050.1, která je dále charakterizována jako uhlíková ocel k zušlechťování a povrchovému kalení. Tato ocel je normalizačně žíhána a vyznačuje se tvrdostí 160-225HB. Rozměr polotovaru je 200x330 mm.

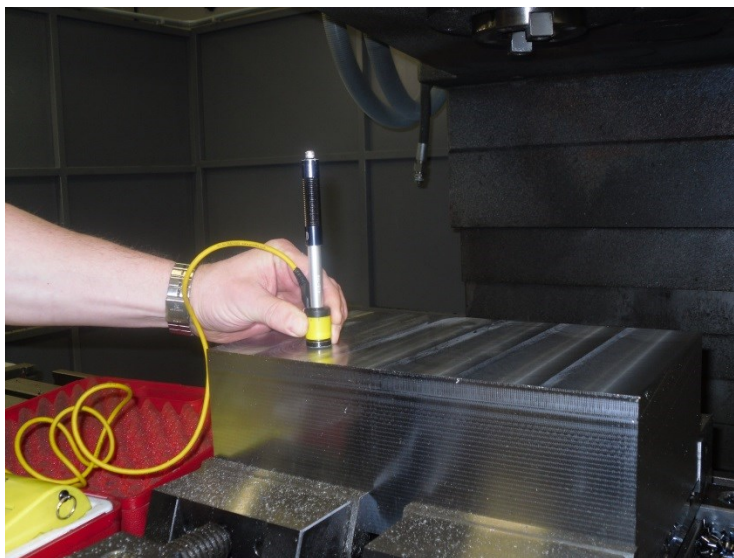
Tab. 4 Chemické složení oceli 12050.1 v %:

	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
dle ČSN	0,42 0,50	0,50 0,80	0,17 0,37	max 0,25	max. 0,30	max 0,30	max 0,040	max. 0,040

Tab. 5 Mechanické vlastnosti dle ČSN 41 20 50:

			12 050.1
Mez kluzu	Rp0,2	MPa	min. 325
Mez pevnosti	Rm	MPa	min. 540
Tažnost	A5	%	min 17
Tvrdost		HB	max 225
Kontrakce	Z	%	
Modul pružnosti v tahu	E	GPa	211
Modul pružnosti ve smyku	G	GPa	79

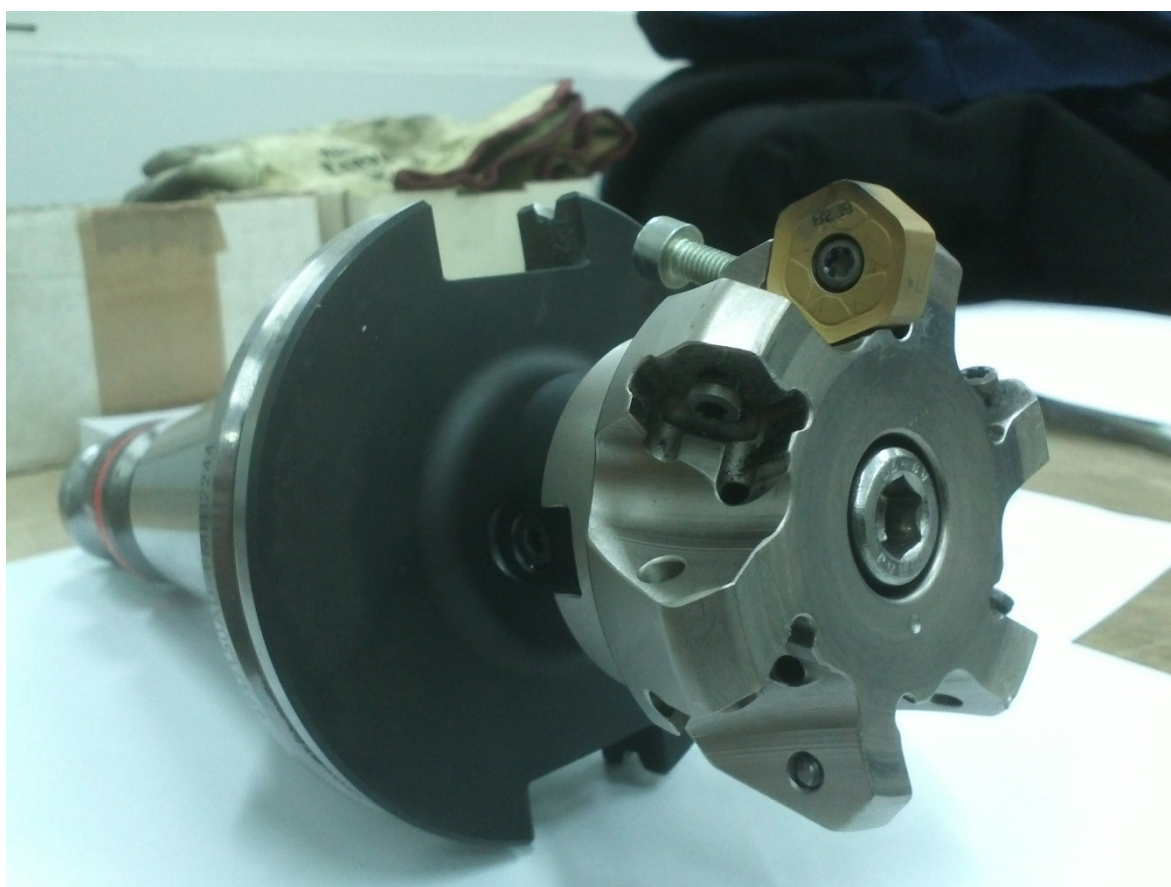
U obráběného materiálu jsme změřili tvrdost, která činila 167 HB.



Obr. 43 Měření tvrdosti materiálu

5.4 Průběh zkoušky

Do lůžka tělesa frézy S 45 HN09 osadíme destičku HNGX-F s utvařečem, u které provedeme na seřizovacím stroji BMD 465v nastavení úhlu hladící plochy. Toto těleso frézy bylo upraveno pro upnutí vždy jen jedné destičky, kde je možné úhel seřídít pomocí přídavného šroubu. Tím, že upneme jen jednu destičku do tělesa frézy, eliminujeme chyby při nastavení a upevnění více destiček, což by mohlo vést k nesprávnému určení vhodného úhlu nastavení hladící plochy.



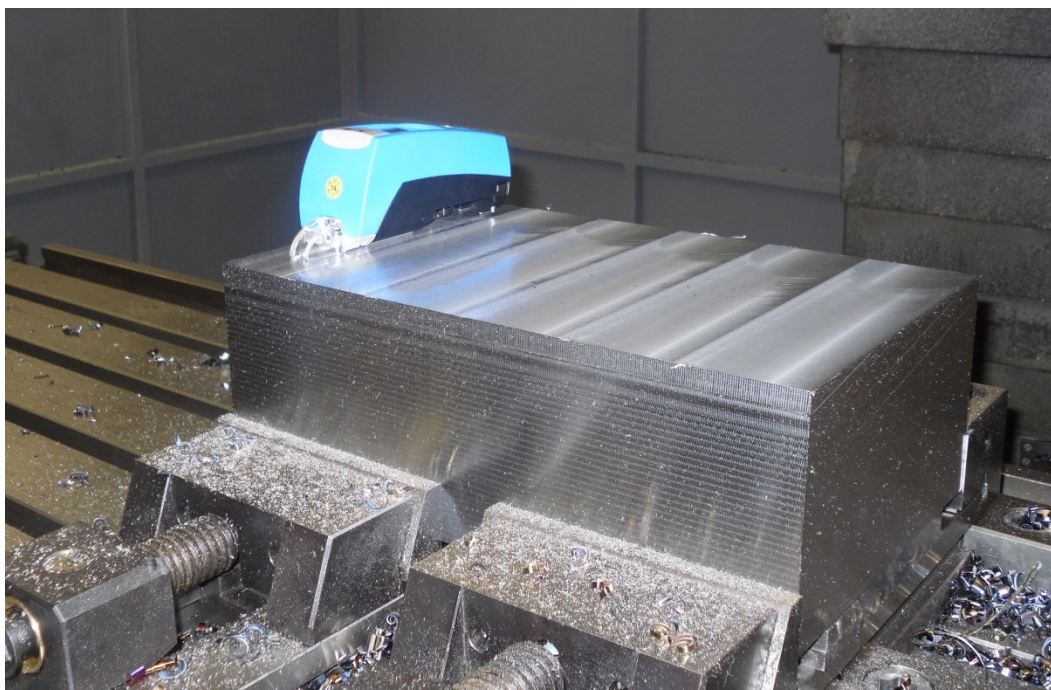
Obr. 44 Upravené těleso frézy pro upnutí destičky

Po následném nastavení vyjmeme těleso frézy z držáku seřizovacího stroje a vložíme do obráběcího centra FCV 63 SCA k provedení zkoušky. Zvolíme vhodné řezné parametry pro rovinné frézování a spustí se program obrábění pro danou zkoušku. Tento program je nastaven tak, aby uskutečnil šest vedle sebe jdoucích záběrů, u kterých se zvyšuje posuv na zub, a to vždy po odjetí jednoho záběru. To znamená, že po ukončení tohoto frézovacího cyklu nám vznikne šest drah s různou kvalitou povrchu.



Obr. 45 Provedení zkoušky u rovinného frézování

Drsnosti povrchu těchto drah se změří přístrojem na měření drsnosti HOMMEL-ETAMIC W5. Tyto změřené hodnoty se zapíší do tabulky.



Obr. 46 Měření drsnosti povrchu jednotlivých drah

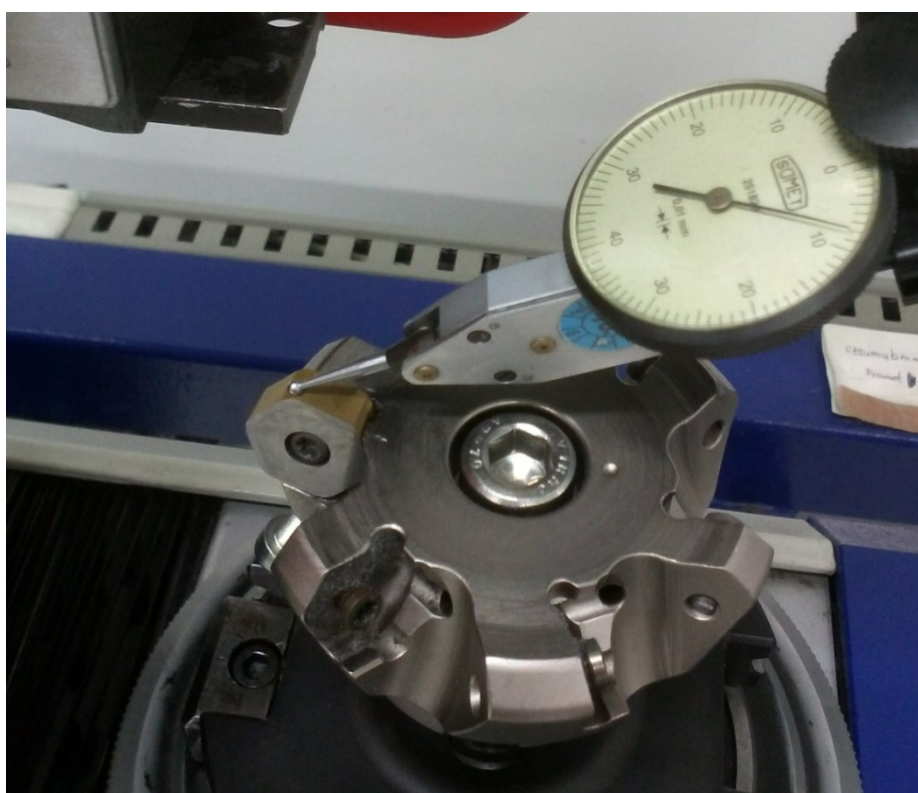
Dále se provede výměna dalších kusů destiček HNGX-F a uskuteční se nastavení jiných určených úhlů hladící geometrie, které jsou navrženy. Tento celý proces provedeme i pro další typ destičky HNGN bez utvařeče.

Hodnoty a výpočet nastavení úhlu hladícího břitu jsou popsány v následující kapitole (kap. 5.4.1).

5.4.1 Výpočet a postup nastavení hladící geometrie

Úhly hladící geometrie, které jsou navrženy na základě současných řešení Prametu a porovnáním s řešením konkurence jsou následující: $\alpha_{1,2,3} = 0^\circ; 0,33^\circ; 0,66^\circ$

Parametry nastavíme na seřizovacím stroji, kde je vložena fréza s upnutou břitovou destičkou. Páčkový úchylkoměr, který je připevněn k tomuto zařízení pomocí magnetického stojánku se nastaví tak, aby se jeho měřicí část dotýkala začátku hladící plochy na hřebtu břitové destičky (obr. 47). V této poloze je nutné číselník úchylkoměru nastavit na nulovou hodnotu. Posuvem na seřizovacím stroji provedeme přejetí na konec této hladící plochy. Utahováním přidavného šroubu na tělese frézy docílíme požadované velikosti sklonu.



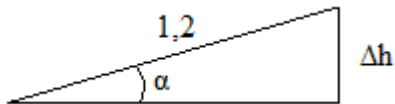
Obr. 47 Nastavení úhlu hladícího břitu pomocí páčkového úchylkoměru

Tuto hodnotu zjistíme s převodní tabulky, kterou jsme vytvořili na základě vzorce pro výpočet úhlů:

$$\sin \alpha = \frac{\Delta h}{1,2}$$

vyjádření úhlu α :

$$\alpha = \arcsin \frac{\Delta h}{1,2}$$



α – nástrojový úhel hřbetu; Δh – velikost sklonu (mm); 1,2 – délka hladícího břitu

Tab. 6 Převodní tabulka

Δh	0,008	0,005	0,003	0,002	0,01	0,02	0,03	0,05	0,08	0,1	0,15	0,2
α	0,38	0,24	0,14	0,09	0,48	0,95	1,43	2,39	3,82	4,78	7,18	9,59

Z toho vyplývá, že hodnoty sklonu jsou následující:

α	Δh
0°	0
0,33°	0,007
0,66°	0,014

5.4.2 Volba řezných parametrů zkoušky

Volba řezných parametrů při obrábění je závislá na vlastnostech nástroje, druhu obráběcího stroje, materiálu na obrábění, řezném prostředí a především na požadavcích na obráběný materiál ze strany zákazníka.

Při volbě řezných podmínek je žádoucí se řídit doporučením výrobce nástrojů, které se uvádí např. v katalogu.

Drsnost povrchu závisí výrazně na velikosti posuvu a řezné rychlosti, dalším faktorem je tuhost a přesnost obráběcího stroje.

Řezné parametry v experimentu pro dokončovací frézování:

- řezná rychlost: $v_c = 200 \text{ m/min}$
- hloubka odebírané vrstvy: $a_p = 1,0 \text{ mm}$
- pracovní záběr: $a_e = 50,0 \text{ mm}$

- otáčky: $n = 1011 \text{ ot/min}$
- doba trvání jednoho cyklu: $t = 8:38 \text{ min.}$

V experimentu při dokončovacím frézování není určen pouze jeden posuv na zub, ale v průběhu řezného cyklu se postupně mění šest určených velikostí posuvů, které jsou uvedeny v tabulce 7.

Tab. 7 Hodnoty použitých posuvů u zkoušky VBD:

Záběr č.:	1	2	3	4	5	6
Posuv (mm/min):	101	202	303	404	505	606

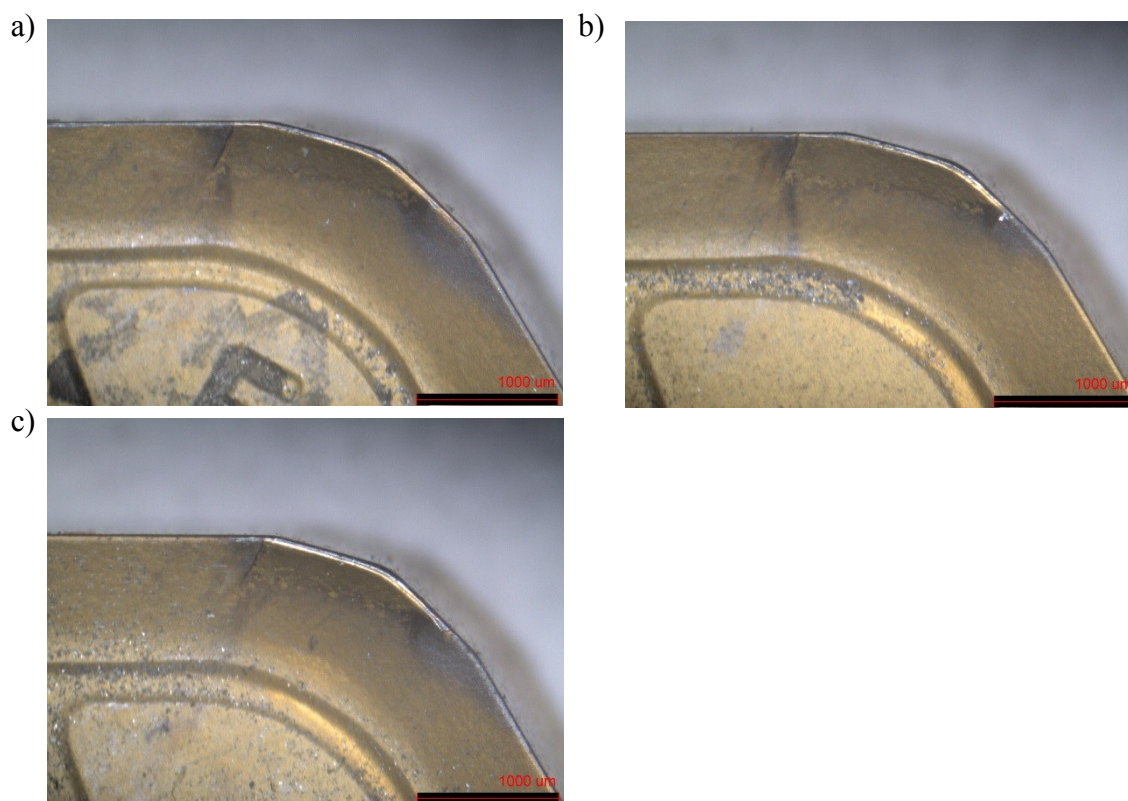
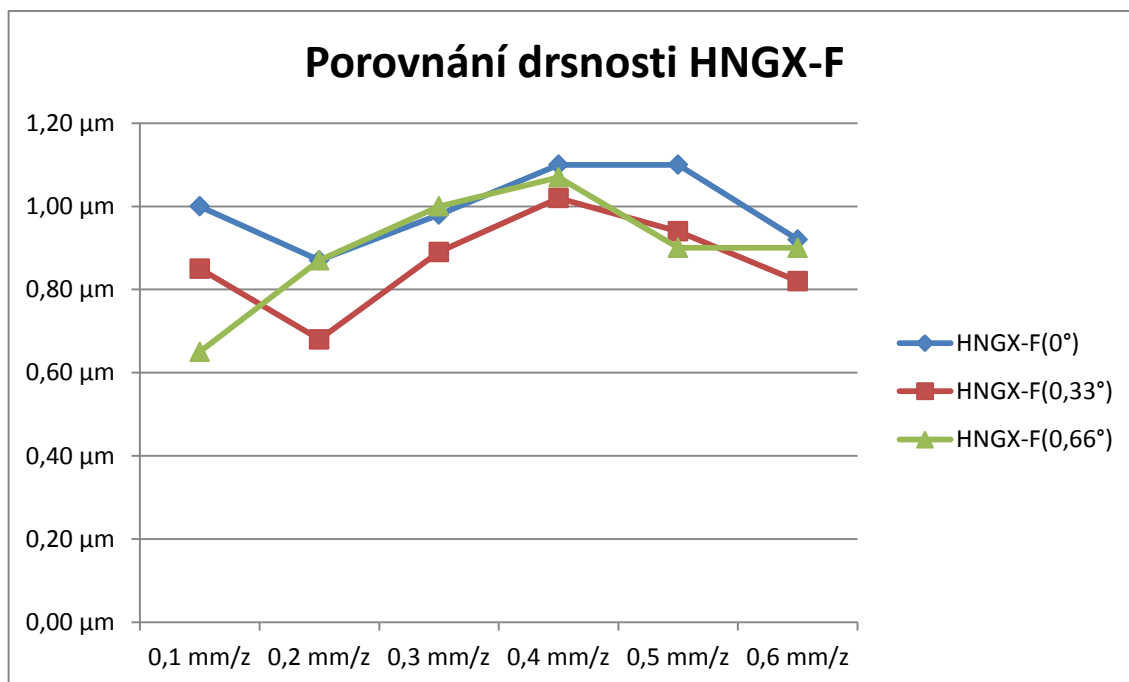
-zkouška probíhala bez použití chladicí kapaliny

Tab. 8 Naměřené hodnoty drsnosti břitových desiček

Drsnost povrchu							
Materiál: 12050.1 160-200HB Rozměr: 200x330 Stroj: FCV 63 SCA Chlazení: Ne	Číslo úkolu: Řešitel:	V_c [m/min]: 200 m/min a_p [mm] : 1,0 mm a_e [mm] : 50,0 mm			Datum: 15.3.2013 Zkoušel: Veselovský Operátor: Hojgr		
		Průměr frézy [mm] : 63,0 mm			Otáčky n [ot/min] 1 011 ot/min		
HNGX-F; úhel 0°	Ra Lt = 15mm	1,00 µm	0,87 µm	0,98 µm	1,10 µm	1,10 µm	0,92 µm
	1 [zub]	101 mm/min	202 mm/min	303 mm/min	404 mm/min	505 mm/min	606 mm/min
HNGX-F; úhel 0,33°	Ra Lt = 15mm	0,85 µm	0,68 µm	0,89 µm	1,02 µm	0,94 µm	0,82 µm
	1 [zub]	101 mm/min	202 mm/min	303 mm/min	404 mm/min	505 mm/min	606 mm/min
HNGX-F; úhel 0,66°	Ra Lt = 15mm	0,65 µm	0,87 µm	1,00 µm	1,07 µm	0,90 µm	0,90 µm
	1 [zub]	101 mm/min	202 mm/min	303 mm/min	404 mm/min	505 mm/min	606 mm/min
HNGN; úhel 0°	Ra Lt = 15mm	0,73 µm	0,99 µm	0,66 µm	0,60 µm	0,75 µm	0,89 µm
	1 [zub]	101 mm/min	202 mm/min	303 mm/min	404 mm/min	505 mm/min	606 mm/min
HNGN; úhel 0,33°	Ra Lt = 15mm	0,85 µm	0,90 µm	0,85 µm	0,75 µm	0,69 µm	0,36 µm
	1 [zub]	101 mm/min	202 mm/min	303 mm/min	404 mm/min	505 mm/min	606 mm/min
HNGN; úhel 0,66°	Ra Lt = 15mm	1,40 µm	0,90 µm	0,85 µm	1,00 µm	0,85 µm	0,58 µm
	1 [zub]	101 mm/min	202 mm/min	303 mm/min	404 mm/min	505 mm/min	606 mm/min

1. Porovnání destiček HNGX-F

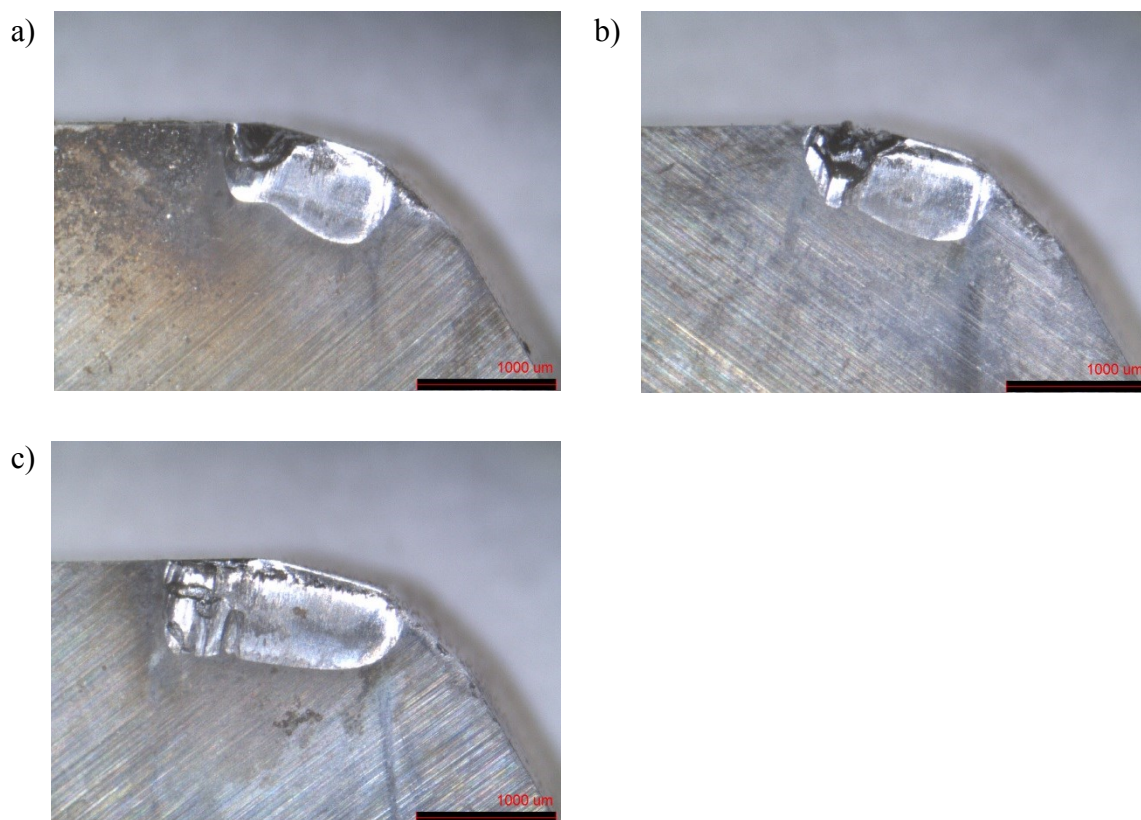
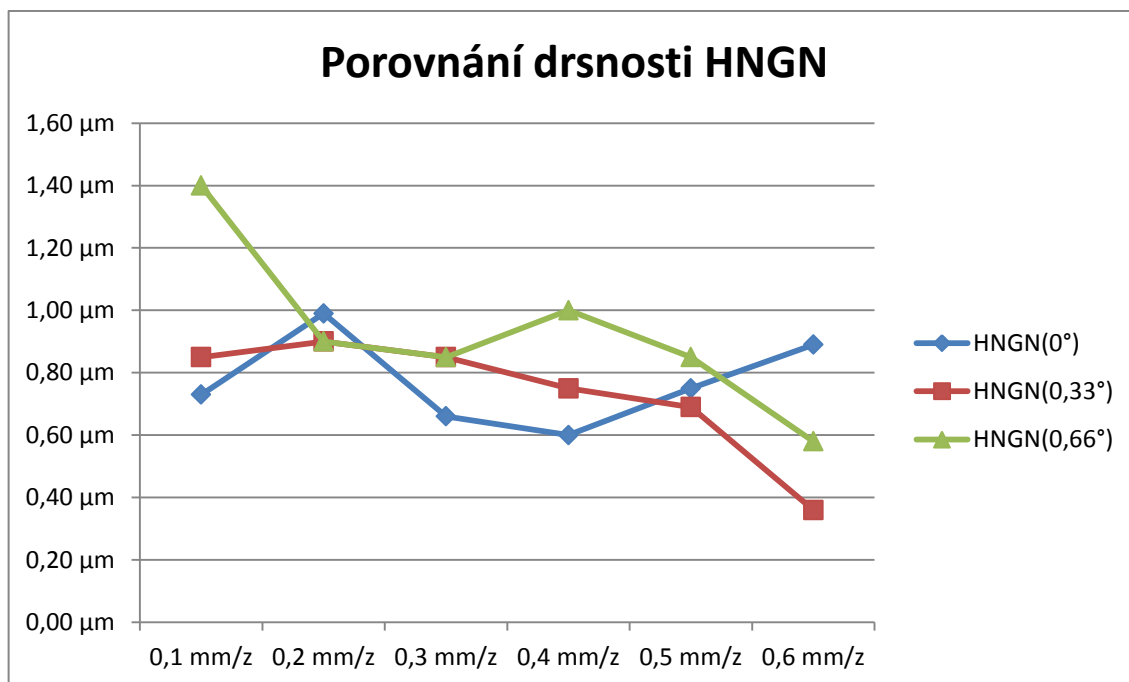
Graf. 1 Porovnání drsnosti VBD v závislosti na velikosti posuvu.



Obr. 48 Opotřebení VBD při experimentu [a - HNGX-F (0°), b - HNGX-F (0,33°), c - HNGX-F (0,66°)]

2. Porovnání destiček HNGN

Graf. 2 Porovnání drsnosti VBD v závislosti na velikosti posuvu.



Obr. 49 Opotřebení VBD při experimentu [a - HNGN (0°), b - HNGN (0,33°), c – HNGN (0,66°)]

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ NAVRHOVANÉHO ŘEŠENÍ

V daném experimentu byly zkoušeny dva typy vyměnitelných břitových destiček, u kterých bylo provedeno nastavení hladicí geometrie pro dosažení požadované drsnosti povrchu, a to při postupných změnách rychlosti posuvů.

Dosaženou kvalitu a drsnost obrobené plochy lze posuzovat porovnáním teoretických hodnot drsnosti povrchu s hodnotami, které byly naměřeny. Pro konkrétní případ dokončovací operace je minimální požadována drsnost povrchu obráběného materiálu $R_a = 1\text{ }\mu\text{m}$.

Z technického hlediska lze tedy dle naměřených drsností vyhodnotit, že břitová destička HNGN s nastaveným úhlem hladicí části $\alpha = 0,33^\circ$ vytvářela s rostoucí hodnotou rychlosti posuvu f_z stále nižší drsnost povrchu obráběného materiálu. Tato destička vytvořila při velikosti posuvu $f_z = 0,60\text{ mm/z}$ drsnost povrchu obráběného materiálu až $R_a = 0,36\text{ }\mu\text{m}$. Avšak po provedení experimentu měla břitová destička HNGN značné poškození břitu, což je dalším rozhodujícím faktorem při vyhodnocování. Z tohoto důvodu bych doporučil zvolit břitovou destičku HNGX-F s nastaveným úhlem hladicí části $\alpha = 0,33^\circ$, která rovněž vykazuje vysokou kvalitu obráběného materiálu. Díky PVD povlaku má břitová destička vysokou trvanlivost a nízké opotřebení břitu, oproti nepovlakované destičce HNGN.

U standartních břitových destiček k dosažení kvalitního povrchu je zapotřebí užití nízkých hodnot posuvů na zub, avšak při použití destiček s hladicí geometrií je postačující posuv pro dosažení stejného výsledku 3x větší. To nám udává významné snížení obráběcího času během dokončovací operace, což přináší zvýšení produktivity a hospodárnosti obráběcího procesu.

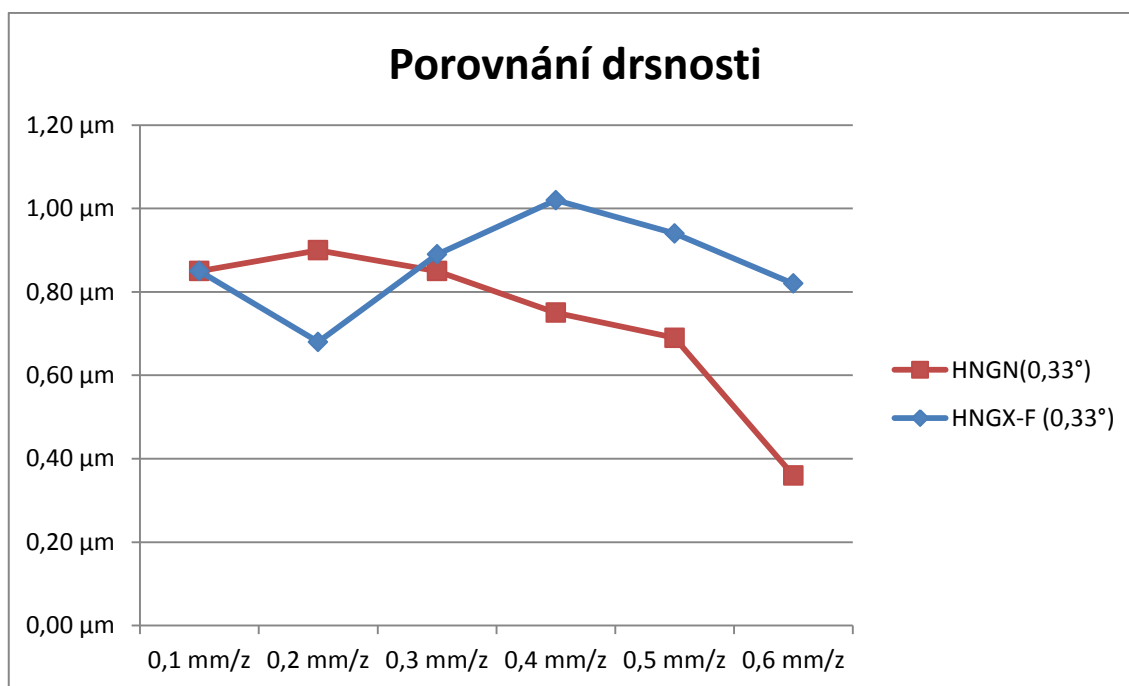
Aplikováním hladicí geometrie u VBD zlepšuje nejen výkon a kvalitu při obrábění, ale přináší i významné ekonomické úspory, a to především pro zákazníka.

V současné době lze frézováním vytvářet povrchy dokonalé jakosti, čehož bylo v dřívějších dobách možné jen broušením. To znamená, že lze vypustit dokončovací brousící operace, a tím významně snížit výrobní náklady a obráběcí časy.

Další snížení nákladů při procesu frézování, můžeme zajistit použitím destičky HNGX-F s hladicí geometrií, která lze užít pro hrubovací až dokončovací operace, na místo použití

více typů VBD, a to např. destičky na hrubovací operace a další typ hladících destiček na dokončovací operace, kdy tato varianta je nákladnější.

Graf. 3 Porovnání drsnosti VBD HNGX-F a HNGN s nastaveným úhlem hladící části $\alpha = 0,33^\circ$ v závislosti na velikosti posuvů.



ZÁVĚR

Na kvalitu jakosti obráběného materiálu má vliv mnoho faktorů, jedním z nich je i geometrie břitu u vyměnitelných břitových destiček. Cílem diplomové práce bylo určení hladicí geometrie u VBD pro dosažení kvalitního povrchu obráběného materiálu při rovinném frézování.

Aby bylo možné správně určit tuto geometrii, byli jsme proto nuceni se nejdříve s touto problematikou důkladně seznámit a hlavně jí dobře pochopit.

V první části diplomové práce jsme se seznámili se současným použitým řešením společnosti Pramet Tools, s.r.o. a porovnali s řešením konkurenčních firem. Další část je věnována teoretickým zákonitostím při navrhování geometrie břitu u vyměnitelných břitových destiček, kde je uvedena obecně geometrie obráběcích nástrojů. Poté se zaměřujeme přímo na geometrii břitové části u VBD. Teoretická část práce dále popisuje technologii výroby slinutých karbidů, ze kterých jsou vyrobeny prototypy destiček pro náš experiment. V tomto bodě jsou popsány i metody povlakování těchto materiálů.

V samotné praktické části je znázorněn celkový průběh, zpracování a vyhodnocení naměřených hodnot při experimentálních zkouškách. Dále bylo provedeno technicko-ekonomické vyhodnocení navrhovaného řešení, kde na základě naměřených hodnot byla doporučena geometrie hladicí části břitu. Daným doporučením je povlakovaná vyměnitelná břitová destička HNGX-F s úhlem nastavení hladicí plochy $\alpha = 0,33^\circ$, která splňuje veškeré požadavky kladené na moderní rezné nástroje.

Aplikace této břitové destičky s hladicí geometrií zaručuje vysokou kvalitu povrchu a přesnost obráběných materiálů, tudíž není zde potřeba nadále tyto plochy obrábět dokončovacími metodami, což nám přináší významné ekonomické úspory.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Internetové stránky firmy Pramet Tools s.r.o. dostupné na:
<<http://www.pramet.com/cz/o-spolecnosti.html>>
- [2] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [3] PRAMET TOOLS, s.r.o. *Frézování 2012: Katalog společnosti Pramet Tools*. Šumperk: Pramet Tools, s.r.o., 2012. 316 s.
- [4] RYBAŘÍK, Jaroslav. *Dokončovací metody obrábění dřer pro uložení ložisek hřídelů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 41 s.
- [5] MM Průmyslové spektrum. *Ovlivnění kvality a jakosti obrobene plochy při frézování*. [online]. 2004, [cit. 2004-04-14]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/ovlivneni-kvality-a-jakosti-obrobene-plochy-pri-frezovani.html>>
- [6] Internetové stránky firmy Seco Tools s.r.o. dostupné na:
<<http://www.secotools.com/cs/CZ-Czech-Republic/Home/>>
- [7] SECO TOOLS, s.r.o. *Katalog společnosti Seco Tools*. Česká republika: Seco Tools, s.r.o., 2012. 116 s.
- [8] Internetové stránky firmy Walter Tools s.r.o. dostupné na:
<<http://www.walter-tools.com/en-gb/pages/default.aspx>>
- [9] Internetové stránky firmy Kennametal Tools dostupné na:
<<http://www.kennametal.com/content/kennametal/en/home.html>>
- [10] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1.díl*. Ostrava: Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, 126 s. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [11] MRKVICA, J. *Návody ke cvičení z obráběcích nástrojů 1.část*. Ostrava: Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 1999, 148 s. ISBN 80-7078-624-8.
- [12] TECH Týdeník-Průmyslový portál. *Řezné nástroje*. [online]. 2011, [cit. 2011-04-05]. Dostupné z: <http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/rezne-nastroje/rezne-nastroje-4_8516.html>

- [13] AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění – Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kundela. 1. Vyd. Praha: Scientia s.r.o. 1997. 857s. Přel. z: Metal cutting - A practical handbook. ISBN 91-972299-4-6.
- [14] MARŠÍČEK, R. *Postup výroby VBD*. [Elektronická prezentace]. Interní materiál firmy Pramet Tools s.r.o. určený pro školení zaměstnanců a distributorů.
- [15] Internetové stránky firmy Hommel-Etamic dostupné na: <<http://www.hommel-etamic.cz/produkty/hommel/hommel-etamic-w5>>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Historické panorama - Pramet Tools	9
Obr. 2 Ukázka sortimentu nástrojů pro frézování	10
Obr. 3 Vliv mechanických vlastností nástrojového materiálu na pracovní podmínky	11
Obr. 4 VBD HNGX	12
Obr. 5 Fréza S45HN09C osazená VBD	13
Obr. 6 Možnosti obrábění	14
Obr. 7 HNGX-F	15
Obr. 8 Profil hlavního břitu a Obr. 9 Funkční diagram	15
Obr. 9 Profil hlavního břitu a Obr. 10 Funkční diagram	15
Obr. 11 HNGX-R	16
Obr. 12 Profil hlavního břitu a Obr. 13 Funkční diagram	16
Obr. 14 Ukázka sortimentu výrobků společnosti Seco Tools	19
Obr. 15 Technický popis OMNU	19
Obr. 16 Břítová destička OMNU 050505 TN a Obr. 17 Frézovací těleso SOF 45	20
Obr. 18 Sídlo firmy Walter v Tübingen – Německo	20
Obr. 19 Technický popis ODHX	21
Obr. 20 Frézovací těleso F 4080	21
Obr. 21 Ukázka sortimentu výrobků společnosti Kennametal	22
Obr. 22 Břítová destička HNGJ 0905ANFNLDJ	23
Obr. 23 Frézovací těleso Dodeka TM 45°	23
Obr. 24 Roviny nástrojové souřadné soustavy soustružnického nože	26
Obr. 25 Vyznačení nástrojových rovin u frézování válcovou frézou	26
Obr. 26 Pracovní souřadnicová soustava pro pravý ubírací soustružnický nůž	27
Obr. 27 Břit nástroje	28
Obr. 28 Úhly na nástroji	31
Obr. 29 Systém značení VBD	31
Obr. 30 Ukázka systému značení VBD	32
Obr. 31 Záběrové podmínky při frézování	33
Obr. 32 Poloha břitové destičky upnuté v tělese nástroje	35
Obr. 33 Schéma postupu výroby slinutých karbidů	38
Obr. 34 Pohyb mlecích kuliček v kulovém mlýnu	39

Obr. 35 Pohyb náplně atritoru	39
Obr. 36 Schéma slinovací pece	42
Obr. 37 Rozměry VBD HNGX	47
Obr. 38 Obráběcí centrum FCV 63 SCA.....	48
Obr. 39 Seřizovací stroj BMD 465v	49
Obr. 40 Těleso frézy S 45 HN09C	49
Obr. 41 Technický popis-Těleso frézy S 45 HN09C	50
Obr. 42 Přístroj na měření drsnosti HOMMEL-ETAMIC W5	50
Obr. 43 Měření tvrdosti materiálu	51
Obr. 44 Upravené těleso frézy pro upnutí destičky	52
Obr. 45 Provedení zkoušky u rovinného frézování	53
Obr. 46 Měření drsnosti povrchu jednotlivých drah.....	53
Obr. 47 Nastavení úhlu hladícího břitů pomocí páčkového úchylkoměru	54
Obr. 48 Opotřebení VBD při experimentu	58
Obr. 49 Opotřebení VBD při experimentu	59

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 – Výkres vyměnitelné břitové destičky HNGX 0906ANSN_F

Příloha č. 2 – Graf vyhodnocení naměřených drsnosti dle posuvu na zub

PODĚKOVÁNÍ

Mé poděkování patří firmě Pramet Tools, s.r.o. za umožnění zpracování diplomové práce. Dále chci poděkovat mému konzultantovi panu Ing. Janu Vlčkovi za poskytnutí informací, které pro mě byly důležité pro zpracování této práce. Také děkuji vedoucímu diplomové práce panu prof. Dr. Ing. Josefovi Brychtovi za poskytnuté konzultace a odborné vedení.